



Dispositivo para el entrenamiento y monitorización del rendimiento en deportistas de alto nivel

Principalmente orientado al balonmano

Autor: Carlos Donderis Vegas

Tutor: Pedro Contreras Lallana

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Departamento de Tecnología Electrónica

Junio 2014

A Pedro Contreras, por creer en mi y darme la oportunidad de darle forma a mis ideas.

A mi familia, en especial a mi padre por su impagable ayuda en la parte mecánica.

A mis amigos, Ruben, Maryna y David por sus aportaciones a lo largo del camino.

A Antonio por contribuir con sus ideas y experiencia en el diseño del sistema.

A Esther por su paciencia y ayuda en los momentos mas complicados.

Gracias, sin vosotros no hubiera sido posible

Carlos

RESUMEN

Este trabajo trata sobre la realización de un dispositivo optoelectrónico para el entrenamiento y la monitorización del rendimiento en deportistas de alto nivel con el objetivo de aumentar las habilidades psicomotrices y con ello propiciar un aumento del rendimiento.

El sistema se basa en la activación secuencial de diferentes barreras ópticas que el deportista debe interceptar en el menor tiempo posible. Para la realización del sistema se ha dividido el sistema en cuatro bloques: Estructura emisores, estructura receptores, microcontrolador y sistema de alimentación.

Se ha creado una estructura para el emplazamiento de los emisores ópticos que permite el desplazamiento vertical de los bloques de emisores de forma que se pueda adecuar a los requerimientos del usuario.

Se ha provisto al sistema de un mecanismo que permite direccionar el haz de luz de los emisores para que incida correctamente sobre el detector óptico.

Esta estructura es desmontable, ligera y fácil de transportar. El bloque con los receptores se ha emplazado en un maletín adaptado a tal efecto. Los receptores se han fijado en la tapa del maletín de forma que el sistema se encuentra en posición de funcionamiento únicamente con abrir la tapa del maletín. El sistema de control se ha realizado en base a un microcontrolador Arduino que permite el control de las diferentes barreras partes del sistema. Se ha desarrollado una interfaz para un ordenador personal que permite a un usuario el manejo del sistema. Para el correcto funcionamiento del sistema también se ha diseñado el sistema de cableado para la interconexión de los diferentes bloques así como el sistema de alimentación.

Se trata de un dispositivo ligero y fácil de emplear, realizado con elementos de bajo coste para obtener un dispositivo económico.

ABSTRACT

This project relate the fabrication process of an optoelectronic device for training and performance monitoring on high-level athletes in order to increase psychomotor skills and thereby, improve athletes performances.

The system is based on the sequential activation of different light curtains that athlete must intercept in the shortest time possible. For the realization, the system is divided into four blocks: Emitters structure, receivers structure, microcontroller and power supply.

A structure has made for positioning of optical emitters, which allows vertical displacement of it so it can adapt to user requierements. It has been implemented a mechanism that facilitate direct the light beam emitters to impinge correctly on each optical detector.

This structure is removable, lightweight and easy to transport.

Receiver's block has been placed on a briefcase adapted into this purpose, Receivers are set at the top of the case so that the system is ready to use just opening the lid of the case.

Control system is made based on Arduino microcontrolle, that allows control each system barrier. Has been developed a PC interface that allows an easily interaction between user and system.

It is a lightweight and easy-to-use system, made with low cost items in order to create an inexpensive device.

CONTENIDO

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
TABLA DE ILUSTRACIONES	6
INDICE DE TABLAS.....	9
1 INTRODUCCIÓN	11
1.1 MOTIVACIÓN	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.3 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	16
2 DESCRIPCION DEL PROTOTIPO.....	18
2.1 ESTRUCTURA PARA LA SUJECIÓN DE LOS EMISORES	21
2.1.1 <i>Sistema de deslizamiento</i>	22
2.1.2 <i>Sistema de fijacion</i>	23
2.1.3 <i>Pie de apoyo</i>	25
2.1.4 <i>Sistema de apuntamiento</i>	25
2.1.5 <i>Soporte circuito emisor</i>	27
2.2 ESTRUCTURA PARA LA SUJECIÓN DE LOS RECEPTORES.....	29
2.3 SOPORTE DEL JOYSTICK PARA EL SISTEMA DE CONTROL.....	30
3 DESARROLLO DEL HARDWARE DEL SISTEMA	32
3.1 SISTEMA DEL EMISOR ÓPTICO	32
3.1.1 <i>Caracterización del laser</i>	33
3.1.2 <i>Circuito de acondicionamiento</i>	35
Fuente de corriente	35
Oscilador.....	37
Ajuste de la tensión alterna.....	38
Circuito completo	39
3.1.3 <i>Placa de circuito impreso</i>	41
3.1.4 <i>Matriz Leds</i>	42
3.1.5 <i>Altavoz</i>	43
3.2 SISTEMA DEL RECEPTOR ÓPTICO	43
3.2.1 <i>Detector óptico</i>	43
3.2.2 <i>Circuito de acondicionamiento</i>	44
3.2.3 <i>Placa de circuito impreso</i>	46
3.3 BLOQUE DE CONTROL	48
3.3.1 <i>Placa de conexiones para el microcontrolador</i>	49
3.3.2 <i>Módulo Joystick</i>	50
3.4 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	51
3.5 CABLEADO Y CONEXIÓN	53
3.5.1 <i>Elementos del sistema y distancias entre ellos</i>	54
3.5.2 <i>Conexiones del emisor</i>	55
3.5.3 <i>Conexiones del receptor</i>	56
3.5.4 <i>Conexiones del sistema de alimentación</i>	57
3.5.5 <i>Sistema de control</i>	57

3.5.6	<i>Esquema del cableado</i>	59
4	DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA	60
4.1	ENTORNO DE PROGRAMACIÓN: PROCESSING	60
4.2	DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ DE USUARIO	60
4.3	CUADRO DE TIEMPOS	62
4.4	MODOS DE FUNCIONAMIENTO	63
4.4.1	<i>Modo Calibrar</i>	63
4.4.2	<i>Modo Auto</i>	63
4.4.3	<i>Modo Mouse</i>	65
4.4.4	<i>Modo Teclado</i>	66
4.4.5	<i>Modo Joystick</i>	67
5	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	68
5.1	CONCLUSIONES	68
5.2	TRABAJOS FUTUROS	69
5.2.1	<i>Mejoras estructurales</i>	69
5.2.2	<i>Mejoras de hardware</i>	69
5.2.3	<i>Mejoras de software</i>	69
	REFERENCIAS	72
	PROGRAMAS EMPLEADOS	73
	ANEXOS	74
	ANEXO I: PRESUPUESTO	75
	ANEXO II: OPINIONES DE EXPERTOS EN DEPORTE DE ALTO NIVEL	79
	OPINIÓN DEL FISIOTERAPEUTA (JOSÉ MOYANO RIVAS)	79
	OPINIÓN DEL DEPORTISTA (MICHAELA CIOBANU)	82
	ANEXO III: MANUAL DE INSTALACIÓN	83
	ANEXO IV: MANUAL DE FUNCIONAMIENTO	99

TABLA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: ESQUEMÁTICO DE LA FOOTBONAUT [REF?]	12
ILUSTRACIÓN 2: IMAGEN DEL MODELO BATAK PRO [4]	13
ILUSTRACIÓN 3: DISPOSITIVO CON LA REFERENCIA DE LA PORTERÍA	19
ILUSTRACIÓN 4: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE DEPORTISTAS DE ALTO NIVEL	20
ILUSTRACIÓN 5: ESTRUCTURA PARA LA SUJECCIÓN DE LOS EMISORES	21
ILUSTRACIÓN 6: DETALLE DE LA UNIÓN SUPERIOR	22
ILUSTRACIÓN 7: DETALLE DE LA UNIÓN INFERIOR	22
ILUSTRACIÓN 8: TUBERÍA TIPO T ANTES Y DESPUÉS DE LIJAR	23
ILUSTRACIÓN 9: DETALLE DEL EMPLAZAMIENTO DEL CERROJO CUANDO ESTE SE ENCUENTRA ABIERTO Y CERRADO	23
ILUSTRACIÓN 10: PIEZA PARA LA FIJACIÓN DEL CERROJO A LA ESTRUCTURA DEL EMISOR	24
ILUSTRACIÓN 11: TALADROS REALIZADOS EN EL TUBO VERTICAL	24
ILUSTRACIÓN 12: PIE DE APOYO	25
ILUSTRACIÓN 13: PIE DE APOYO VISTA INFERIOR	25
ILUSTRACIÓN 14: IMAGEN DE LA RÓTULA ROD-END	26
ILUSTRACIÓN 15: EJEMPLO DE USO DE LA RÓTULA EN EL TREN DE DIRECCIÓN DE UN AUTOMÓVIL	26
ILUSTRACIÓN 16: ESQUEMA DE LA PIEZA DE SUJECCIÓN DEL EMISOR ÓPTICO	26
ILUSTRACIÓN 17: PIEZA DE SUJECCIÓN DEL EMISOR ÓPTICO UNA VEZ FABRICADA	26
ILUSTRACIÓN 18: ESTRUCTURA PARA EL APUNTAMIENTO DEL HAZ DE LUZ	27
ILUSTRACIÓN 19: CAJA CON SU TAPA ANTES Y DESPUÉS DE REALIZAR LOS TALADROS	27
ILUSTRACIÓN 20: ESQUEMA DE LA PIEZA PARA LA FIJACIÓN DE LAS CAJAS DEL EMISOR A LA ESTRUCTURA	28
ILUSTRACIÓN 21: PIEZA FABRICADA PARA LA FIJACIÓN DE LAS CAJAS DEL EMISOR A LA ESTRUCTURA	28
ILUSTRACIÓN 22: MONTAJE DEL EMISOR CON LA CAJA PARA EL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO CON Y SIN TAPA	28
ILUSTRACIÓN 23: MALETÍN EMPLEADO PARA LA SUJECCIÓN DE LOS RECEPTORES	29
ILUSTRACIÓN 24: MÓDULO JOYSTICK DE LA VIDEOCONSOLA PLAYSTATION 2	30
ILUSTRACIÓN 25: DISEÑO DE LA CARCASA DEL MÓDULO DEL JOYSTICK	30
ILUSTRACIÓN 26: CARCASA FABRICADA PARA EL MÓDULO DEL JOYSTICK	30
ILUSTRACIÓN 27: DISPOSICIÓN FINAL DEL MÓDULO JOYSTICK	31
ILUSTRACIÓN 28: MÓDULO LÁSER EMPLEADO	32
ILUSTRACIÓN 29: GRÁFICO DE CORRIENTE FRENTE A TENSIÓN PARA EL MÓDULO LÁSER	33
ILUSTRACIÓN 30: FOTODETECTOR PDA100A-EC DE THORLABS	34
ILUSTRACIÓN 31: GRÁFICA DE LA RESPONSABILIDAD DEL FOTODETECTOR PDA100A-EC EN FUNCIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA	34
ILUSTRACIÓN 32: GRÁFICO DE LA CORRIENTE GENERADA EN EL FOTODETECTOR EN FUNCIÓN DE LA POTENCIA ÓPTICA RECIBIDA	35
ILUSTRACIÓN 33: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DEL EMISOR ÓPTICO	35
ILUSTRACIÓN 34: CIRCUITO FUENTE DE CORRIENTE	36
ILUSTRACIÓN 35: ESQUEMA DEL CIRCUITO OSCILADOR EN PUENTE DE WIEN	37
ILUSTRACIÓN 36: FORMA DE ONDA DE LA TENSIÓN DE SALIDA DEL CIRCUITO OSCILADOR	38
ILUSTRACIÓN 37: CIRCUITO DIVISOR DE TENSIÓN	38
ILUSTRACIÓN 38: FORMAS DE ONDA EN LA ENTRADA (CH2) Y A LA SALIDA (CH1) DEL ATENUADOR	39
ILUSTRACIÓN 39: CIRCUITO EMISOR COMPLETO	39
ILUSTRACIÓN 40: FORMA DE ONDA DE LA TENSIÓN PROPORCIONADA AL MÓDULO LÁSER	40
ILUSTRACIÓN 41: DISEÑO DE LA PLACA DE CIRCUITO IMPRESO DEL EMISOR	41
ILUSTRACIÓN 42: PLACA DE CIRCUITO IMPRESO DEL EMISOR FABRICADA	41
ILUSTRACIÓN 43: PLACA DEL CIRCUITO IMPRESO DEL EMISOR CON LOS COMPONENTES SOLDADOS	41
ILUSTRACIÓN 44: MATRIZ LED 8x8	42
ILUSTRACIÓN 45: ESQUEMA INTERNO DE LA MATRIZ DE LEDS	42

ILUSTRACIÓN 46: MATRIZ LED 8x8 FIJADA A LA ESTRUCTURA DEL EMISOR	42
ILUSTRACIÓN 47: DETALLE DE LAS DIFERENTES FLECHAS MOSTRADAS EN LA MATRIZ LED 8x8.....	43
ILUSTRACIÓN 48: VISTA FRONTAL Y TRASERA DEL ALTA VOZ EMPLEADO EN EL SISTEMA DE EMISIÓN	43
ILUSTRACIÓN 49: DETECTOR ÓPTICO BPW40 DE VISHAY.....	44
ILUSTRACIÓN 50: ESQUEMA DEL CIRCUITO ACONDICIONADOR DEL RECEPTOR	44
ILUSTRACIÓN 51: SALIDA DEL DETECTOR ÓPTICO CUANDO INCIDE EL HAZ DE LUZ GENERADO POR EL EMISOR ÓPTICO	45
ILUSTRACIÓN 52: SALIDA DEL CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DEL DETECTOR ÓPTICO	45
ILUSTRACIÓN 53: FLANCO DE BAJADA DE LA SEÑAL DE SALIDA DEL CIRCUITO ANTE UNA INTERRUPCIÓN EN EL HAZ DE LUZ	46
ILUSTRACIÓN 54: FLANCO DE SUBIDA DE LA SEÑAL DE SALIDA DEL CIRCUITO DESPUÉS DE UNA INTERRUPCIÓN EN EL HAZ DE LUZ	46
ILUSTRACIÓN 55: PCB RECEPTOR SOFTWARE.....	46
ILUSTRACIÓN 56: PCB RECEPTOR FÍSICA	47
ILUSTRACIÓN 57: PCB RECEPTOR SOLDADO	47
ILUSTRACIÓN 58: ARDUINO MEGA.....	48
ILUSTRACIÓN 59: VISTA LA PLACA DE CONEXIONES PARA EL MICROCONTROLADOR ARDUINO MEGA 2560	49
ILUSTRACIÓN 60: MÓDULO JOYSTICK DE LA VIDEOCONSOLA PLAYSTATION 2.	50
ILUSTRACIÓN 61: FUENTE DE ALIMENTACIÓN LC420H-12.....	51
ILUSTRACIÓN 62: DETALLE ETIQUETA IDENTIFICADORA DE CABLES, EN EL LATERAL DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN	52
ILUSTRACIÓN 63: DETALLE DE CORTOCIRCUITO ENTRE PS-ON (VERDE) Y GND (NEGRO).....	52
ILUSTRACIÓN 64: FOTO DEL MALETÍN CON LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN.	53
ILUSTRACIÓN 65: DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DEL RENDIMIENTO DE DEPORTISTAS DE ALTO NIVEL.....	54
ILUSTRACIÓN 66: DISPOSITIVO CON LA REFERENCIA DE LA PORTERÍA	55
ILUSTRACIÓN 67: VISTA FRONTAL DE LOS CONECTORES HEMBRA Y MACHO DE MINIFIT 10 PINES.....	56
ILUSTRACIÓN 68: VISTA DE LOS CONECTORES TIPO BANANA COMO LOS EMPLEADOS EN EL SISTEMA DETECTOR.....	56
ILUSTRACIÓN 69: VISTA DEL CONEXIONADO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	57
ILUSTRACIÓN 70: VISTA DEL CONECTOR TIPO POSTE	58
ILUSTRACIÓN 71: VISTA DEL CONECTOR PARA CABLE PLANO.....	58
ILUSTRACIÓN 72: VISTA LA PLACA DE CONEXIONES PARA EL MICROCONTROLADOR ARDUINO MEGA 2560	58
ILUSTRACIÓN 73: ESQUEMA DEL CABLEADO.....	59
ILUSTRACIÓN 74: INTERFAZ GRÁFICA DE LA APLICACIÓN DE USUARIO	61
ILUSTRACIÓN 75: DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL CONTROL DE LOS TIEMPOS.....	62
ILUSTRACIÓN 76: CUADRO DE TIEMPOS	63
ILUSTRACIÓN 77: DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL MODO DE FUNCIONAMIENTO CALIBRAR	63
ILUSTRACIÓN 78: DIAGRAMA DE FLUJO IMPLEMENTADO PARA EL MODO AUTO	64
ILUSTRACIÓN 79: INTERFAZ AL INICIO DEL EJERCICIO EN MODO AUTO	65
ILUSTRACIÓN 80: INTERFAZ DE USUARIO EN MODO MOUSE	66
ILUSTRACIÓN 81: ESQUEMA DE LECTURAS ANALÓGICAS	67
ILUSTRACIÓN 82: POSIBLE ESQUEMA DE SINCRONIZACIÓN ONLINE	70
ILUSTRACIÓN 83: EJEMPLO DE APLICACIÓN PARA UN TELÉFONO INTELIGENTE.	71
ILUSTRACIÓN 84: PARTE INFERIOR DE LA ESTRUCTURA DEL EMISOR [PIEZA 1].....	83
ILUSTRACIÓN 85: TUBOS VERTICALES CON TALADRO Y MARCAS [PIEZAS 2 Y 3]	84
ILUSTRACIÓN 86: TUBO HORIZONTAL PARTE MEDIA [PIEZA 5]	84
ILUSTRACIÓN 87: TUBO HORIZONTAL PARTE SUPERIOR [PIEZA 6].....	84
ILUSTRACIÓN 88: TUBO HORIZONTAL DE APOYO SUPERIOR [PIEZA 7].....	84
ILUSTRACIÓN 89: MALETÍN RECEPTOR [PIEZA 8]	85
ILUSTRACIÓN 90: MALETÍN FUENTE DE ALIMENTACIÓN [PIEZA 9]	85
ILUSTRACIÓN 91: CAJA PARA CONEXIÓN ARDUINO [PIEZA 10]	86
ILUSTRACIÓN 92: CABLE 5M [CABLE 1]	87
ILUSTRACIÓN 93: CABLE SEÑALES DE LOS RECEPTORES [CABLE 6]	87

ILUSTRACIÓN 94: CABLE PARA EL TUBO INFERIOR [CABLE 3]	87
ILUSTRACIÓN 95: CABLE PARA TUBO SUPERIOR [CABLE 4].....	87
ILUSTRACIÓN 96: CABLE SEÑAL EMISORES [CABLE 5].....	87
ILUSTRACIÓN 97: CABLE SEÑALES DE LOS RECEPTORES[CABLE 6]	87
ILUSTRACIÓN 98: CABLE JOYSTICK [CABLE 9]	88
ILUSTRACIÓN 99: CABLE PLANO [CABLE 10]	88
ILUSTRACIÓN 100: PASO 1 DE LA INSTALACIÓN: POSICIONAR TUBOS VERTICALES.....	89
ILUSTRACIÓN 101: PASO 2 DE LA INSTALACIÓN: POSICIONAR BARRAS HORIZONTALES	90
ILUSTRACIÓN 102: PASO 3 DE LA INSTALACIÓN: INTRODUCCIÓN TUBO SUPERIOR DE APOYO.....	90
ILUSTRACIÓN 103: PASO 4 DE LA INSTALACIÓN: AJUSTAR ALTURA DE LAS BARRAS HORIZONTALES.....	91
ILUSTRACIÓN 104: PASO 5 DE LA INSTALACIÓN: COLOCACIÓN DE LOS ELEMENTOS.....	92
ILUSTRACIÓN 105: PASO 6 DE LA INSTALACIÓN: CABLEADO ESTRUCTURA EMISOR	93
ILUSTRACIÓN 106: PASO 7 DE LA INSTALACIÓN: CABLEADO FUENTE DE ALIMENTACIÓN	93
ILUSTRACIÓN 107: PASO 8 DE LA INSTALACIÓN: CABLEADO CENTRO DE RECEPTORES	94
ILUSTRACIÓN 108: PASO 9 DE LA INSTALACIÓN: CABLEADO ARDUINO	95
ILUSTRACIÓN 109: CABLEADO CENTRO RECEPTOR, ALIMENTACIÓN Y ARDUINO	96
ILUSTRACIÓN 110: PASO 10 DE LA INSTALACIÓN: CABLEADO MATRIZ LED	97
ILUSTRACIÓN 111: ESTRUCTURA COMPLETA INSTALADA	98
ILUSTRACIÓN 112: INTERFAZ GRÁFICA	99

INDICE DE TABLAS

TABLA 1:HOJA RESUMEN	75
TABLA 2:PCB EMISOR	76
TABLA 3:PCB RECEPTOR	76
TABLA 4:ESTRUCTURA DEL EMISOR	77
TABLA 5:ÁRDUINO Y EXTRAS	77
TABLA 6:ESTRUCTURA DEL RECEPTOR	77
TABLA 7:FUENTE DE ALIMENTACIÓN	77
TABLA 8:CABLEADO	78
TABLA 9:CONEXIONES	78

“No basta saber, se debe también aplicar.

No es suficiente querer, se debe también hacer”

Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832)

1 INTRODUCCIÓN

La tecnología en el deporte es una rama de la tecnología que está en auge, esto es debido a la alta competitividad que existe y la necesidad que tienen los atletas de buscar la perfección para poder mejorar unas décimas.

Es tal la repercusión de esta nueva modalidad que existen diversas posibilidades de estudio como por ejemplo el curso de postgrado en la Universidad Pompeu Fabra de Cataluña “Máster en Tecnología para el deporte”. [1]

En el mercado existen diferentes tipos de máquinas que permiten monitorizar el rendimiento de deportistas de alto nivel, si bien, su elevado precio y las características que presentan no se adecúan a los objetivos del presente Trabajo Fin de Grado.

-Footbonaut: Sistema utilizado por el equipo de fútbol Borussia Dortmund en sus entrenamientos. Diseñada por Christian Güttler, la maquina fue presentada en 2012 y fue adquirida por 1.3 millones de dólares, aunque según declaraciones del creador, dependiendo del software rondaría entre 2.4 y 3.5 millones de dólares.

1. INTRODUCCIÓN

EL ROBOT QUE REVOLUCIONA EL FUTBOL

Los jugadores de Borussia Dortmund, que vencieron 4-1 a Real Madrid, entrenan regularmente el control y la motricidad fina del dominio del balón con un robot.

Cómo funciona la máquina

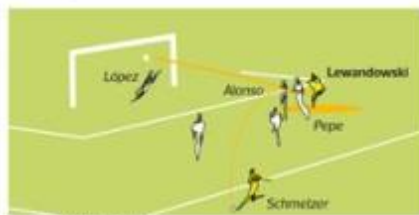
- 1 El balón es lanzado, a velocidad regulada y después de un sonido, hacia el jugador.

Velocidad
60 120
va desde los 60 a 120 km/h.

- 2 El jugador debe controlar el balón, en uno o dos toques, y debe enviarlo a una de las 64 cuadrantes, que se anuncian en un color.
- 3 El cuadrante termina por computar los aciertos y errores del futbolista y así genera estadísticas de su potencial.

EJEMPLO: EL TERCER GOL DE LEWANDOWSKI

La efectividad del entrenamiento del Footbonaut se vio reflejada en este tanto de Borussia Dortmund.



Representación de la jugada

Beneficios
Mejora la técnica y la visión periférica

FUENTE: El País y www.BorussiaDortmund.de

Ilustración 1: Esquemático de la Footbonaut



El ingenio consiste en un recinto de catorce metros cuadrados, en cuyas paredes se presentan hasta 72 paneles luminosos, con la estructura que se muestra en la ilustración 1.

El funcionamiento del dispositivo permite que un jugador de fútbol situado en el centro deba recibir el balón enviado desde una de las paredes y lo lance de nuevo hacia uno de los paneles que se iluminará como destino del pase. Una vez que la pelota ha pasado por el panel apropiado, el proceso se repite. De esta forma, el futbolista, además de perfeccionar la técnica de control del balón y la precisión en el pase, entrena su velocidad de reacción, los reflejos y la rapidez visual. [2]

1. INTRODUCCIÓN

-**Batak [3]**: Dispositivo creado por Quotronics (fundada en 1990).



Ilustración 2: Imagen del modelo Batak Pro [3]

En 2011 la máquina es internacionalmente conocida y usada por casi la totalidad de equipos de fórmula 1, para entrenar los reflejos de sus pilotos.

La máquina consiste en una estructura con una serie de pulsadores dispuestos estratégicamente, en la ilustración 2 se muestra el modelo Batak Pro con 12 pulsadores. El jugador se sitúa enfrente de la máquina y debe accionar los pulsadores a medida que se van iluminando durante un tiempo determinado. Al finalizar el sistema muestra la puntuación obtenida.

El éxito de la máquina es tal que la gente muestra en internet el video de sus actuaciones. Actualmente, el "record mundial no oficial" lo tiene el holandés de 36 años (1987) Menkes Van Den Briel, con 172 puntos en 60 segundos. El video se puede ver en la dirección web [4].

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

El hombre siempre ha empleado su curiosidad en la búsqueda de soluciones para cubrir sus necesidades. Es decir, aplica sus conocimientos para la invención de herramientas o máquinas que le proporcionen una mejora en su calidad de vida.

Partiendo desde este razonamiento me propongo abordar este proyecto.

En este momento soy deportista de alto nivel, jugador profesional de balonmano. Comparto esta actividad con los estudios de ingeniería. En todos mis años de formación y práctica deportiva, tanto en los clubes (humildes o de mayores aspiraciones) como en las selecciones nacionales en las que he participado, he visto las deficiencias tecnológicas que existen en los deportes minoritarios y lo he vivido especialmente en el que práctico.

Soy portero de balonmano y veo necesario la adaptación de la tecnología en pro de una mejora del rendimiento y autocorrección del deportista, que en muchas ocasiones no cuenta con los medios necesarios para ello, difícil situación para conseguir una mejora de aptitudes que favorezcan la formación y competitividad.

Un día vi por casualidad un reportaje sobre un aparato diseñado para los futbolistas del Borussia Dortmund, se llama Footbonaut, del que más tarde hablaré. A partir de este momento me planteé como objetivo unir mis dos grandes pasiones, la formación adquirida en estos años en el Grado en ingeniería electrónica industrial y automática con mis experiencias deportivas, el deporte y la electrónica.

Para conseguir un guía en este proceso pensé en un profesor con el que empaticé desde el principio, Pedro Contreras, que aceptó mi propuesta y me alentó a darle forma a mis ideas. Estoy enormemente agradecido por ayudarme y sobre todo por creer en mí.

1. INTRODUCCIÓN

1.2 Objetivos

El principal objetivo del presente Trabajo Fin de Grado es la realización de una máquina que permita mejorar el rendimiento de deportistas de alto nivel, en particular orientado a los jugadores de balonmano.

A diferencia que en los sistemas presentados en la introducción, en el balonmano se usa resina para coger el balón, lo que hace que una maquina como la BATAK se termine deteriorando rápidamente, por ello se propone el uso de dispositivos opto-electrónicos como emisores de luz y fotodetectores para evitar que haya contacto físico entre la máquina y el usuario.

También se desea que la maquina se pueda utilizar en diferentes lugares por lo que se debe dotar de cierta movilidad, además de para facilitar su transporte y almacenamiento también debe cumplir que pese poco y sea fácil de plegar.

En resumen, las principales características que la máquina deberá cumplir son:

- Sistema que permita monitorizar el rendimiento de los deportistas.
- Dispositivo optoelectrónico para evitar el contacto físico máquina-usuario.
- Ligero y fácil de compactar y desplazar.
- Multifuncional: que tenga más de una utilidad.
- Precio económico.

1. INTRODUCCIÓN

1.3 Estructura de la memoria

Una vez que se ha realizado la introducción junto con la motivación y los objetivos, se va a describir la organización seguida en el presente Trabajo Fin de Grado.

En el segundo capítulo se describe la estructura del prototipo que se ha realizado. El sistema se ha dividido en una estructura de 2m de alto por 2m de largo en la que se emplazarán los emisores, que se encontrará a una distancia de 4m de otra estructura más compacta en la que se situarán los receptores.

En el tercer capítulo se presenta el desarrollo e implementación de la parte electrónica. En él se describen el subsistema emisor, el subsistema de recepción, y el microcontrolador empleado como sistema de control. Finalmente, se presenta el sistema de alimentación planteado así como el cableado necesario para el funcionamiento del dispositivo.

En el cuarto capítulo se describe el desarrollo software realizado así como la interfaz necesaria para su interacción con el usuario.

En el quinto capítulo se muestran las principales conclusiones obtenidas en el desarrollo del trabajo así como los trabajos futuros y las posibles mejoras del sistema implementado.

Antes de los anexos se encuentran las referencias empleadas para el desarrollo del presente trabajo, así como un listado con los programas utilizados

En el Anexo I se indica el presupuesto necesario para el desarrollo del presente Trabajo fin de Grado.

En el Anexo II se presenta la opinión de dos expertos en deporte de alto nivel. Se ha preguntado su opinión sobre el dispositivo a un fisioterapeuta encargado del entrenamiento y rehabilitación de deportistas de alto nivel, y a una deportista que ha sido seleccionada en sucesivas ocasiones para jugar en la Selección Española Absoluta de Balonmano Femenina.

En el Anexo III se ofrece el manual de instalación del dispositivo para el entrenamiento y la monitorización de deportista de alto nivel.

Finalmente en el Anexo IV se ofrece el manual de funcionamiento.

“Las máquinas solo pueden ser producto de nuestro ser”

Douglas Coupland (1961-Actualidad)

2 DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

El prototipo que se pretende desarrollar para la monitorización del rendimiento de deportistas de alto nivel consiste en un sistema formado por diferentes barreras ópticas que el deportista debe interceptar siguiendo las indicaciones dadas por un sistema de control. Mediante el uso de barreras ópticas se evita que el deportista tenga que tocar algún pulsador, que podría deteriorarse debido al uso de resina como sucede con los jugadores de balonmano. A su vez, el sistema de control se encarga de monitorizar el tiempo empleado por el deportista en realizar la serie de movimientos. El dispositivo se puede configurar mediante una aplicación ejecutada en un ordenador personal.

Para la generación de las barreras ópticas es necesario contar con una serie de emisores ópticos y sus respectivos receptores que estén separados una distancia determinada. Por ello, se ha desarrollado una estructura ajustable en la que se van a situar los emisores, y separados a una distancia suficiente se sitúa el módulo con los receptores. En la ilustración 3 se muestra la disposición de los elementos que forma el sistema.

Puesto que la aplicación se ha pensado para ser empleado por jugadores de balonmano, se ha decidido que la separación adecuada para que la estructura no interfiera con el movimiento del jugador sea de cuatro metros. El sistema está diseñado para que el usuario este mirando al módulo de los emisores que se sitúa en el lado de la portería a una distancia cercana, no más de 1 metro.



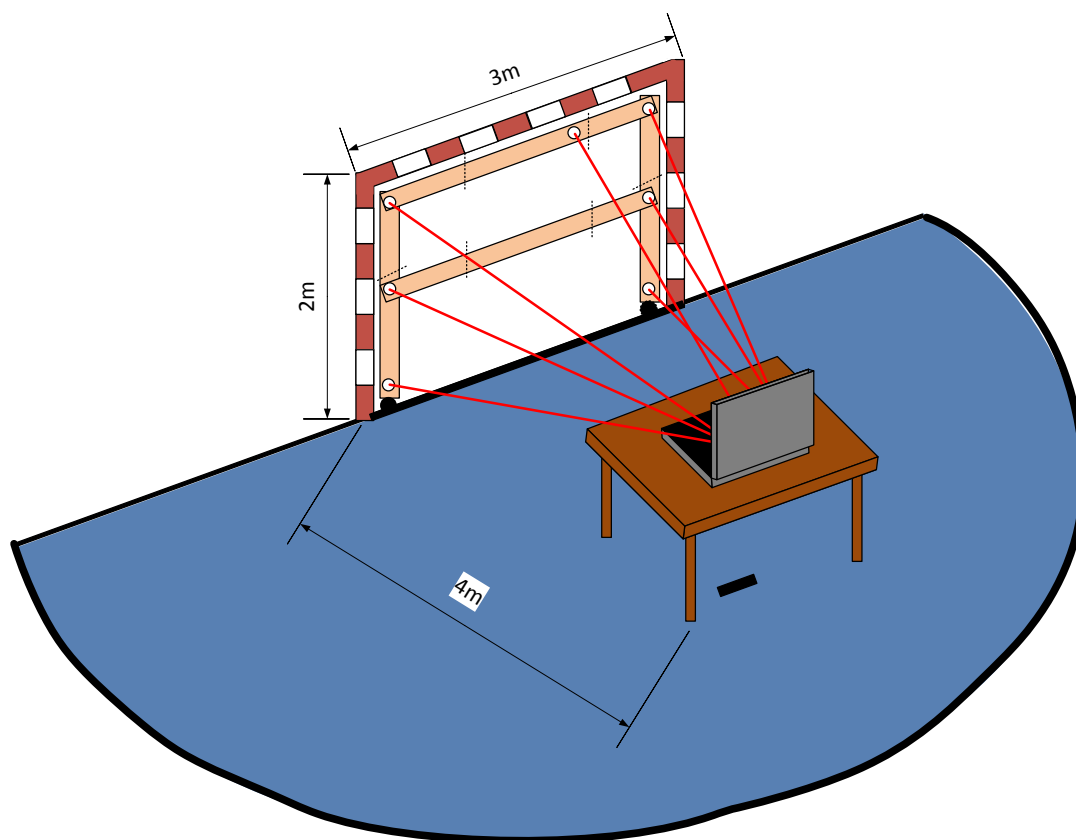


Ilustración 3: Dispositivo con la referencia de la portería

El diagrama de bloques del sistema de monitorización del rendimiento de deportistas de alto nivel se presenta en la ilustración 4. El bloque de emisores que se situaría en la estructura móvil se encarga de generar el rayo de luz que debe interceptar el usuario. El bloque de receptores, se encarga de recibir el rayo de luz procedente del emisor óptico, y detectar si el rayo ha sido bloqueado. El bloque de control se encarga de activar los emisores ópticos según lo configure el usuario, detectar cuando se produce el bloqueo del rayo de luz emitido, y realizar la comunicación con el ordenador personal. El ordenador personal sirve de interfaz entre el entrenador y el sistema de monitorización del rendimiento en deportistas de alto nivel.

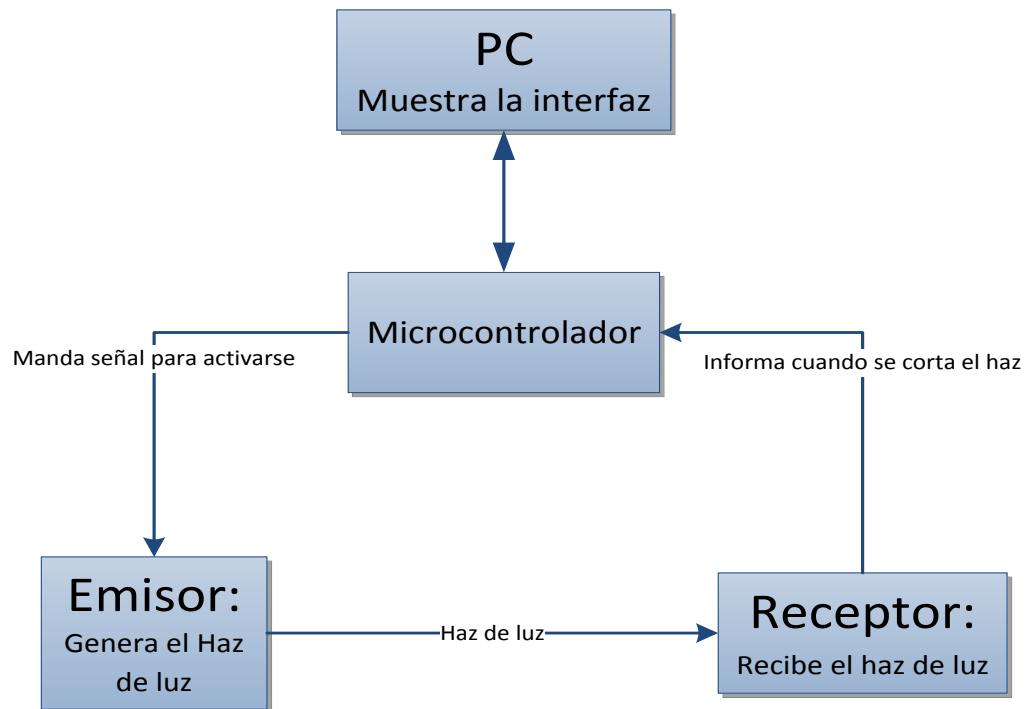


Ilustración 4: Diagrama de bloques del sistema de monitorización del rendimiento de deportistas de alto nivel

2.1 Estructura para la sujeción de los emisores

La estructura para la sujeción de los emisores permite fijar los emisores ópticos en la posición deseada para la realización del entrenamiento del deportista. El objetivo principal es crear una estructura estable, pero a la vez fácil de desplazar y ajustar a diferentes alturas. Se ha empleado en su fabricación diferentes elementos de policloruro de vinilo (PVC), debido a su reducido precio y que permite la construcción sencilla de la estructura.

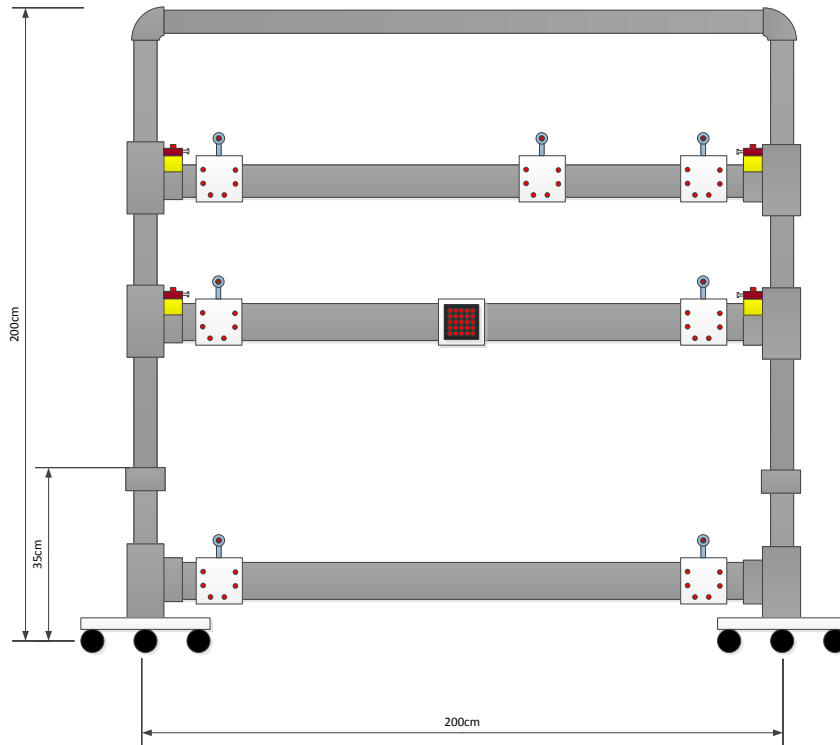


Ilustración 5: Estructura para la sujeción de los emisores

En la ilustración 5 se presenta el prototipo creado. La estructura se ajusta a las dimensiones de una portería de balonmano. Se han empleado tubos de PVC de 50mm de diámetro para la realización de la estructura. Las dos barras laterales, la barra horizontal superior y la barra horizontal inferior dan forma a la estructura. Las dos barras interiores horizontales son las encargadas de deslizarse por las barras verticales, para adaptarse a los diferentes usuarios de esta máquina. La estructura se asienta sobre dos pies de apoyo que presentan ruedas para facilitar el desplazamiento de la estructura.

La unión entre las barras laterales y la barra horizontal superior se ha realizado mediante codos, tal y como se muestra en la ilustración 6, mientras que para la unión de la barra inferior horizontal se han empleado uniones en T, como se indica en la ilustración 7.

En base a las indicaciones de los posibles usuarios de la máquina se ha optado por realizar la disposición de los emisores ópticos que se muestra en la figura. De esta forma se permite ejecutar la variedad de movimientos necesarios en un portero de balonmano. Se han previsto dos emisores en los extremos de la barra inferior, dos emisores en los extremos de la barra

2. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

móvil central y tres en la barra móvil superior. Los emisores van fijados en una rótula utilizada (situado encima de las cajas blancas) para facilitar el direccionamiento el haz de luz.



Ilustración 6: Detalle de la unión superior

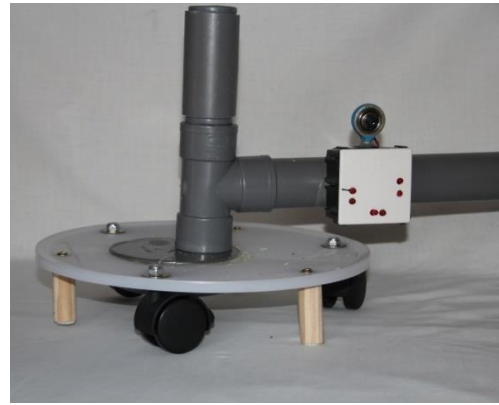


Ilustración 7: Detalle de la unión inferior

La estructura se ha provisto de unas cajas blancas que contienen las placas de circuito impreso para el funcionamiento de los emisores ópticos con unos diodos emisores de luz (LED) adicionales para indicar cuál es el emisor activo.

La posición vertical de las barras horizontales móviles se ajusta mediante el uso de cerrojos situados en los extremos de dichas barras.

2.1.1 Sistema de deslizamiento

Para permitir el deslizamiento de las barras horizontales se ha utilizado un sistema basado en una tubería en forma de T, con las tres salidas de 50mm de diámetro, como la mostrada en la ilustración 8. El objetivo es que la salida perpendicular sea la que contenga a la barra horizontal y las dos paralelas sean para deslizar sobre barras laterales de 40mm.

Para asegurar la sujeción del tubo de 40mm a la entrada de 50mm, evitando que el tubo tenga posibilidad de movimiento, pero asegurando un correcto deslizamiento, se han utilizado adaptadores de 50 a 40 mm lijados en su parte interna, para asegurar la fijación y el correcto deslizamiento.



Ilustración 8: Tubería tipo T antes y después de lijar

2.1.2 Sistema de fijación.

Para crear un sistema de fijación que resulte eficaz, se ha optado por realizar taladros en los tubos verticales y añadir un mecanismo de cerradura que asegure el tubo horizontal a la altura deseada.



Ilustración 9: Detalle del emplazamiento del cerrojo cuando este se encuentra abierto y cerrado

En la ilustración 9 se puede observar el estado del cerrojo cuando se encuentra abierto, imagen derecha, y cuando se encuentra cerrado, imagen izquierda. Para la correcta fijación del cerrojo a la unión en forma de T se ha diseñado y fabricado mediante un impresora 3D una pieza que permite aumentar la superficie de contacto entre el cerrojo y la propia unión en forma de T. En la ilustración 10 se muestra el dibujo de la pieza fabricada.

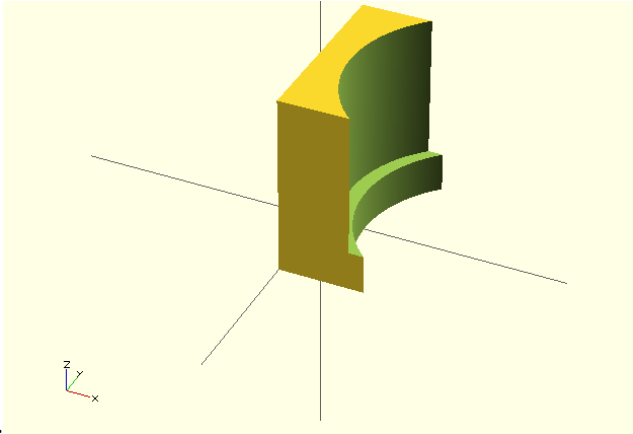


Ilustración 10: Pieza para la fijación del cerrojo a la estructura del emisor

Por otro lado, debido al grosor de la estructura en forma de T, junto con el adaptador, se ha realizado un rebaje en la parte externa de la unión en forma de T para conseguir que el cerrojo llegase a contactar con el tubo interno de 40 mm.

Se han realizado taladros en las barras verticales cada 10 cm y se han numerado cada agujero con la altura real a la que se encuentra, para facilitar la elección de la altura en los extremos de las barras horizontales.

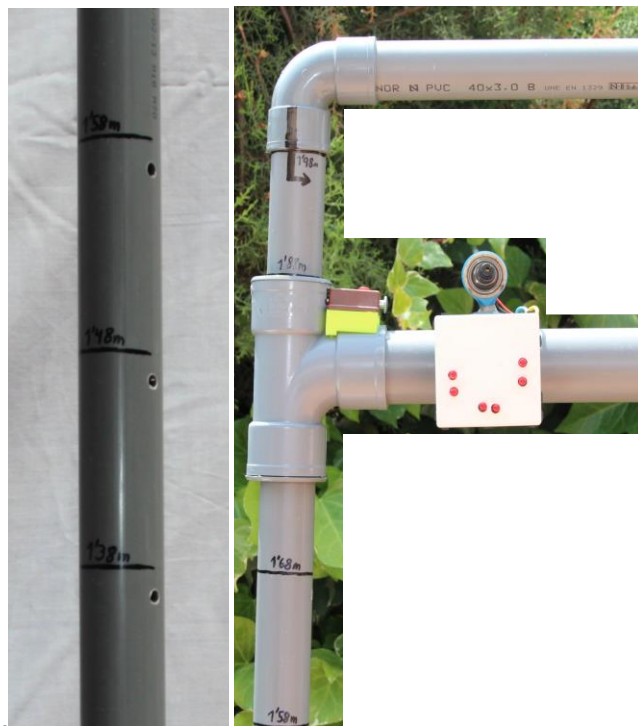


Ilustración 11: Taladros realizados en el tubo vertical

2.1.3 Pie de apoyo

Para el apoyo en el suelo de la estructura se ha utilizado una pieza que adapta la tubería de 40mm a una tubería mucho mayor. Esta pieza, se ha unido a un soporte de plástico circular, al que se han fijado tres ruedas para facilitar el movimiento de la estructura y se han dispuesto tres tacos de madera para mejorar su estabilidad. Adicionalmente, para evitar la inclinación de lateral de la estructura se ha provisto un segmento de tubería de 40mm junto con un empalme lineal de 40mm-40mm. Al imponer que la unión sea unos centímetros por encima de la pieza circular, se asegura que ésta no va a sufrir en exceso en el montaje del aparato. Finalmente, en la parte inferior de la estructura se incorporan las dos uniones en forma de T para la fijación de la barra fija horizontal que sirve para dar forma a la estructura. En la ilustración 12 se presenta el detalle del pie de apoyo de la estructura y en la ilustración 13 se muestra su vista inferior.



Ilustración 12: Pie de apoyo

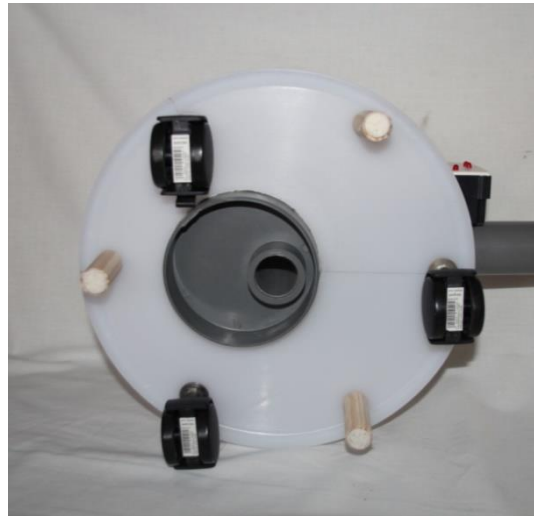


Ilustración 13: Pie de apoyo vista inferior

2.1.4 Sistema de apuntamiento

Debido a la distancia que hay entre la estructura de los emisores y el bloque de los receptores, 4 metros, se hace necesario el empleo de un sistema de apuntamiento que permita el direccionamiento correcto de los emisores ópticos para que el haz de luz llegue adecuadamente al receptor óptico.

Para su realización se ha empleado una rotula denominada Rod-End, que se puede observar en la ilustración 14, que permite un gran rango de movimiento. Emplazando el emisor óptico en este dispositivo mecánico permite direccionar el haz de luz al punto deseado.

Una de las aplicaciones más comunes este tipo de rótulas es en el tren de dirección de los automóviles. En la ilustración 15 se muestra esquema de su uso para la aplicación mencionada

2. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO



Ilustración 14: Imagen de la rótula Rod-end

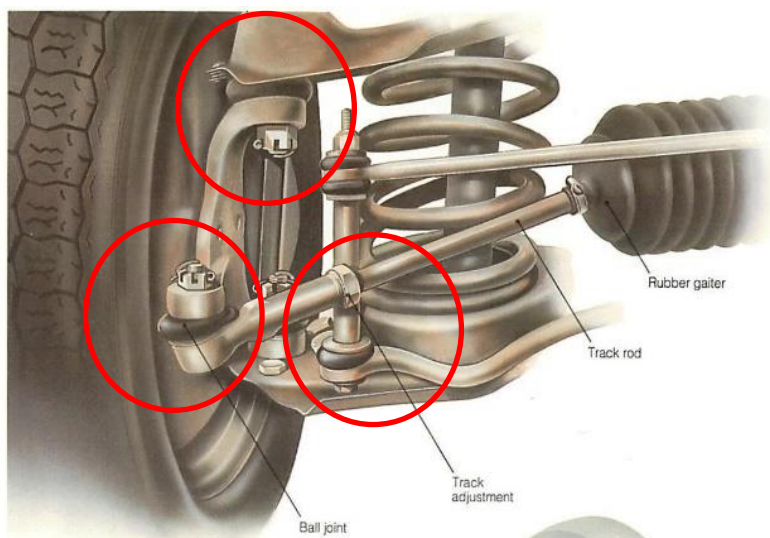


Ilustración 15: Ejemplo de uso de la rótula en el tren de dirección de un automóvil

Como ya se ha mencionado previamente, el láser va a estar situado en la rótula. Para facilitar su fijación se ha creado una una pieza cilíndrica de plástico en una impresora 3D. En la ilustración 16 se muestra el diseño de la pieza y en la ilustración 17 se presenta la pieza fabricada en una impresora 3D.

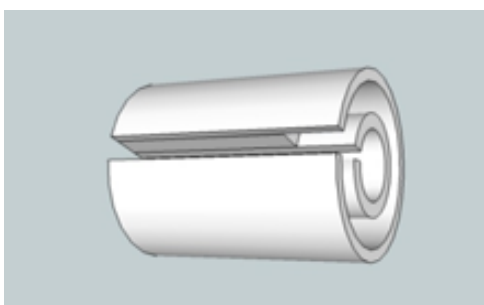


Ilustración 16: Esquema de la pieza de sujeción del emisor óptico.



Ilustración 17: Pieza de sujeción del emisor óptico una vez fabricada

Finalmente, en la ilustración 18 se puede ver el resultado final con el emisor óptico colocado en la rótula.

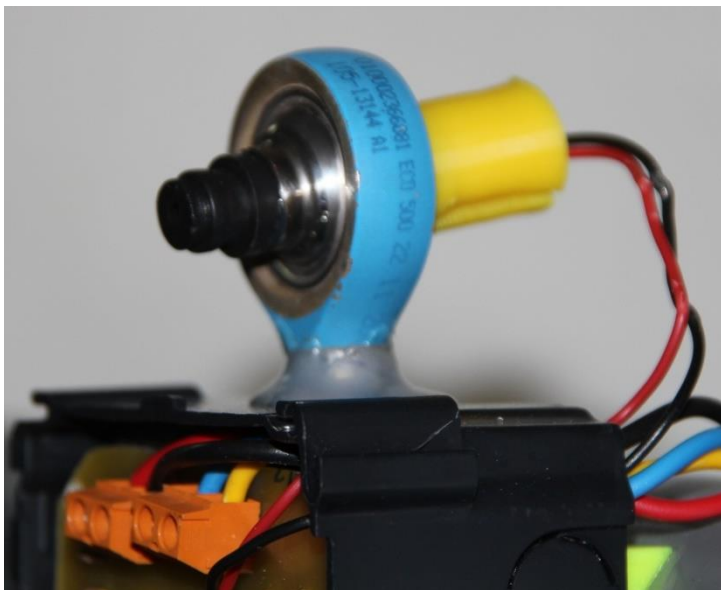


Ilustración 18: Estructura para el apuntamiento del haz de luz

2.1.5 Soporte circuito emisor

Para la sujeción del circuito emisor a la estructura se han empleado unas cajas de distribución eléctrica. Se han practicado unos taladros de forma que puedan verse los Leds que sirven para indicar el funcionamiento del emisor al usuario. En la ilustración 19 se muestra el modelo de caja empleado antes y después de realizar los taladros.

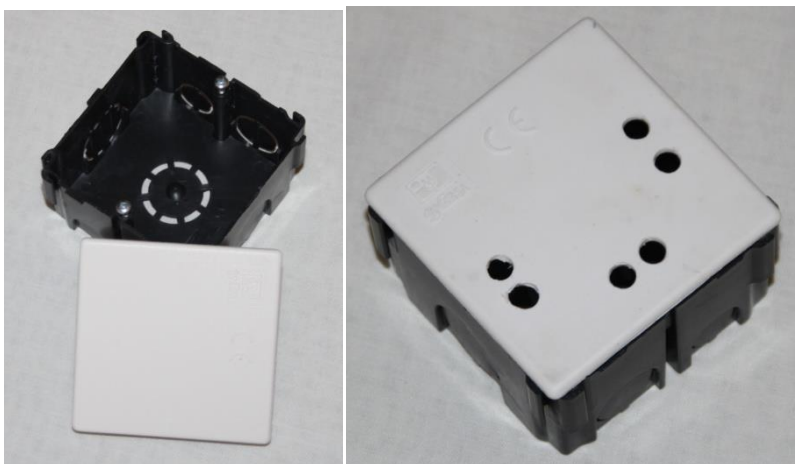


Ilustración 19: Caja con su tapa antes y después de realizar los taladros

Al igual que se ha hecho con el cerrojo, para facilitar la fijación de estas cajas a la estructura del emisor se ha diseñado una pieza con la impresora 3D que adapta la superficie curva de la tubería a la forma de la caja. En la ilustración 20 se muestra el diseño de la pieza realizado con el programa openScad, y en la ilustración 21 se presenta la pieza fabricada mediante una impresora 3D.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

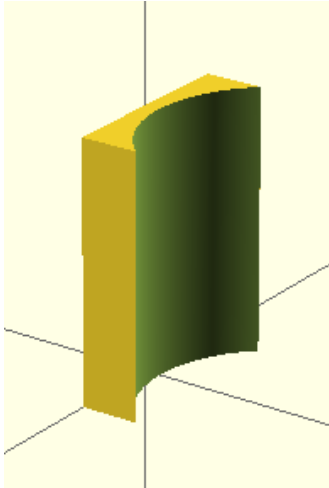


Ilustración 20: Esquema de la pieza para la fijación de las cajas del emisor a la estructura

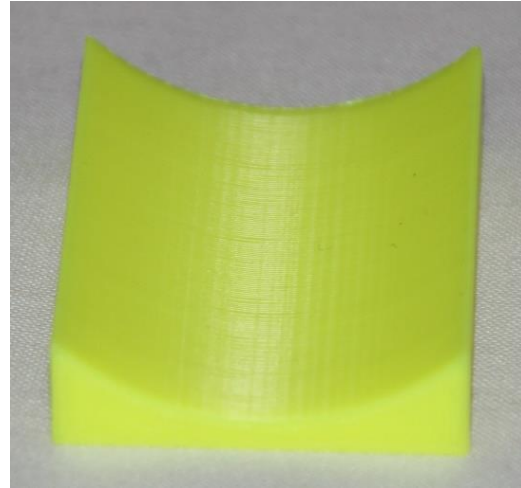


Ilustración 21: Pieza fabricada para la fijación de las cajas del emisor a la estructura

En la ilustración 22 se presenta la disposición final con el emisor óptico emplazado en la rótula para permitir el direccionamiento del haz de luz, y el circuito de acondicionamiento dispuesto en su caja.

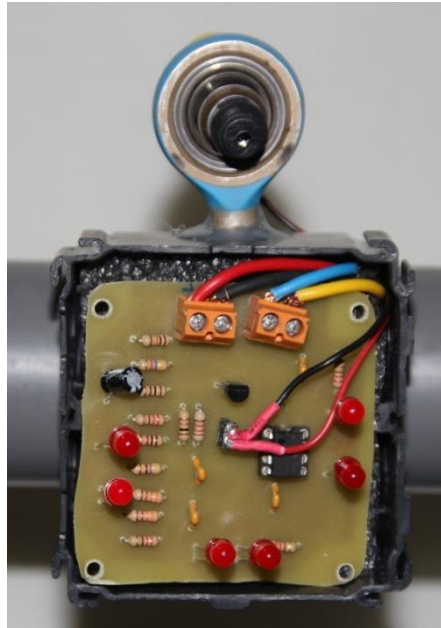
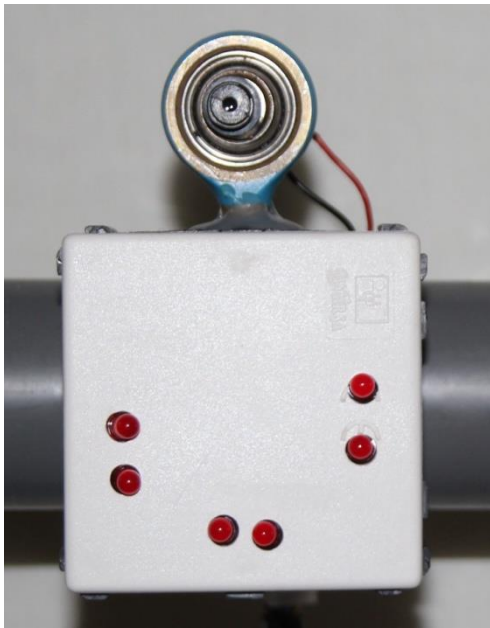


Ilustración 22: Montaje del emisor con la caja para el circuito de acondicionamiento con y sin tapa

2.2 Estructura para la sujeción de los receptores

Los receptores junto con los bornes de conexión se han colocado en una tabla de madera que se fija en el interior de un maletín y que sirve como soporte. Mediante este sistema, se pueden almacenar y transportar los receptores cuando no se empleen, y con la tapa levantada sirve de soporte a los receptores cuando el sistema esté en funcionamiento, de forma que en la parte que se puede levantar se sitúa la madera con los conectores y los agujeros para permitir que pasen los detectores ópticos

En la ilustración 23 se muestra el maletín empleado como elemento de sujeción de los receptores, así como su disposición con la tapa abierta.



Ilustración 23: Maletín empleado para la sujeción de los receptores.

2.3 Soporte del Joystick para el sistema de control

Para realizar el control del dispositivo se puede emplear un mando tipo joystick. Se ha escogido un módulo de Joystick de la video consola PlayStation 2. En la ilustración 24 se presenta una imagen del módulo de joystick empleado.

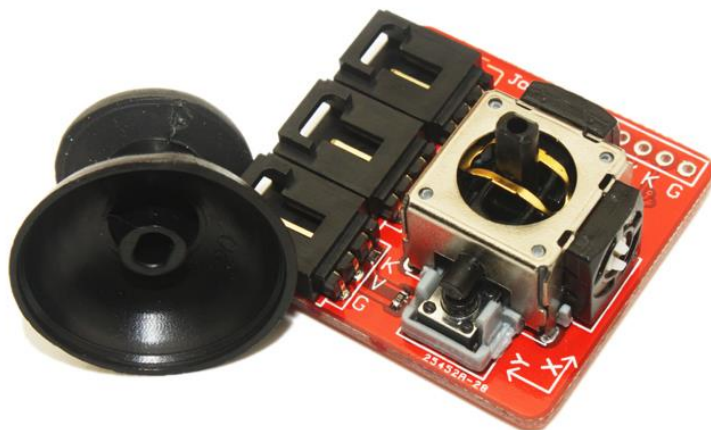


Ilustración 24: Módulo Joystick de la videoconsola PlayStation 2.

Con una finalidad estética y a la vez funcional, se ha diseñado una carcasa que consta dos partes que posteriormente se han fabricado con una impresora 3D, en la ilustración 25 se muestra el diseño en software y en la ilustración 26 se muestra la pieza fabricada. La otra pieza fabricada es una tapa solida del tamaño inferior de la carcasa.

Las dos partes se pegan después de introducir el módulo de joystick, haciendo inaccesible su parte interna.

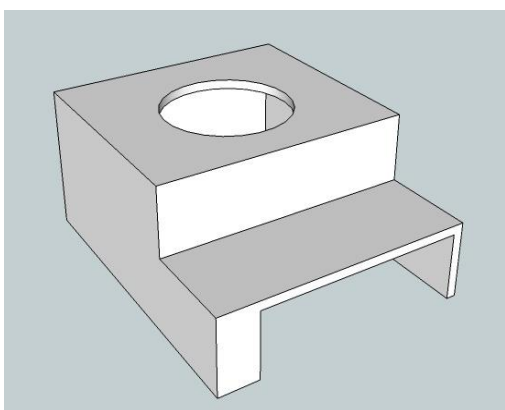


Ilustración 25: Diseño de la carcasa del módulo del Joystick

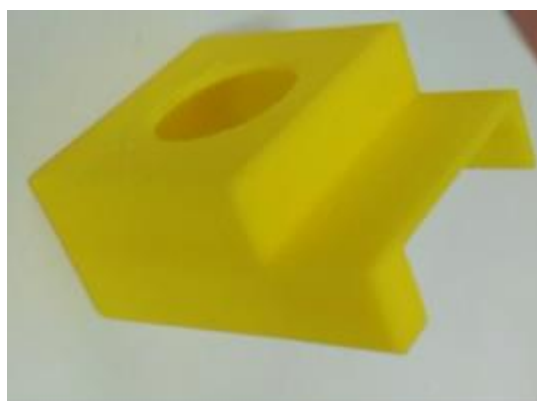


Ilustración 26: Carcasa fabricada para el módulo del Joystick

En la ilustración 27 se muestra la imagen del módulo del joystick insertado en la carcasa y con las conexiones realizadas.

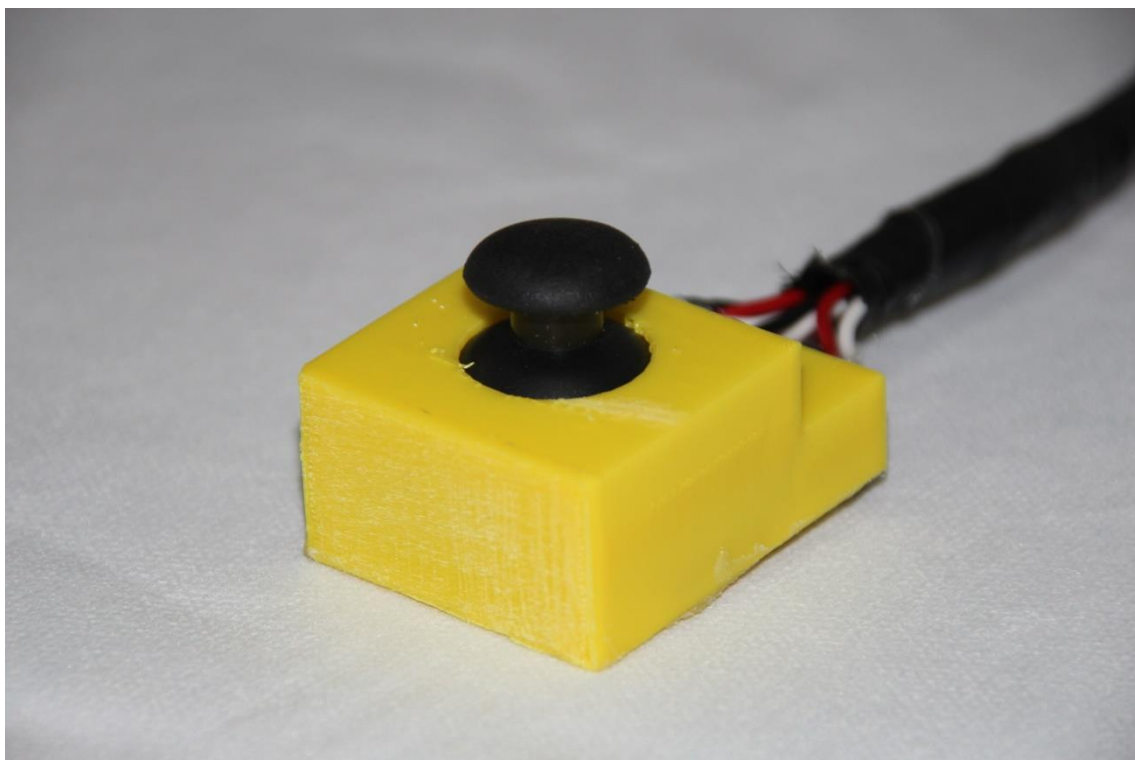


Ilustración 27: Disposición final del módulo Joystick.

3 DESARROLLO DEL HARDWARE DEL SISTEMA

3.1 Sistema del emisor óptico

Para la realización de la barrera óptica se ha decidido emplear una fuente de luz que emita en el espectro visible, para facilitar que el usuario la intercepte, de baja potencia, para minimizar los posibles daños. Por estas razones se ha escogido como emisor un diodo láser de clase II de bajo coste que cumple con los siguientes requisitos:

- **Haz de luz colimado:** para que llegue correctamente al receptor sin dispersarse.
- **Visible:** para evitar accidentes y saber en todo momento donde está el haz de luz.
- **Con suficiente potencia:** Con el objetivo de que pueda llegar al menos a 4 o 5 metros
- **Económico:** Para reducir el coste del equipo.

Teniendo en cuenta las anteriores condiciones, se ha seleccionado un módulo láser de la marca DealExtreme (carente de identificación) que emite luz visible entorno a 635nm (color rojo). El módulo láser, mostrado en la ilustración 28, viene con la óptica de colimación incluida.



Ilustración 28: Módulo láser empleado

3.1.1 Caracterización del laser

Dado que el módulo láser viene sin identificación ni hoja de características, se ha realizado su caracterización eléctrica para la realización del diseño del circuito de excitación del emisor. Para ello se ha colocado el láser en serie con una fuente de tensión variable y una resistencia de 220Ω y se ha modificado el valor de tensión desde 0 a 4V en intervalos de 0.5V y se ha medido la corriente consumida por el módulo láser. Obteniendo la gráfica de la ilustración 29.

También se ha realizado la caracterización electro-óptica del módulo láser. Para ello se ha dirigido el haz de luz generado por el módulo láser hacia un fotodetector, para de esta forma medir la potencia óptica que el módulo láser está emitiendo cuando se modifica su corriente de alimentación.

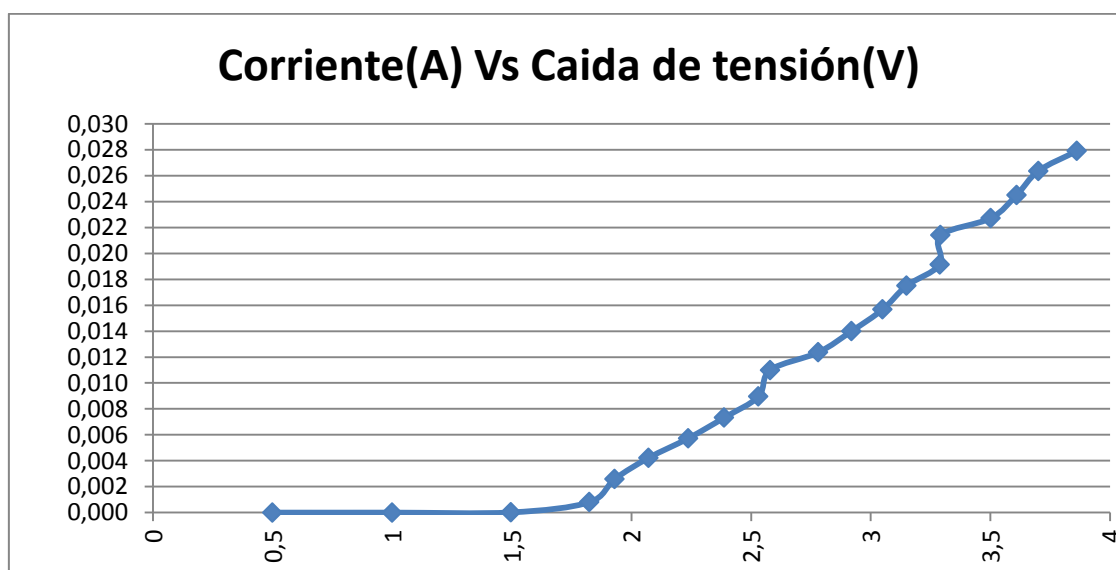


Ilustración 29: Gráfico de corriente frente a tensión para el módulo láser

Para realizar dicha caracterización se ha empleado el fotodetector amplificado PDA100A-EC de Thorlabs, mostrado en la ilustración 30. Este fotodetector permite modificar la ganancia de transimpedancia que presenta mediante un selector, que se ha configurado con una ganancia en transimpedancia de $1,51 \cdot 10^3$ V/A. Para realizar la conversión entre la fotocorriente generada antes de la amplificación y la potencia óptica incidente sobre el fotodetector se ha determinado mediante la ilustración 31 que el fotodetector presenta una responsividad de 0,4 A/W a la longitud de onda de trabajo, $\lambda = 635\text{nm}$.



Ilustración 30: Fotodetector PDA100A-EC de Thorlabs

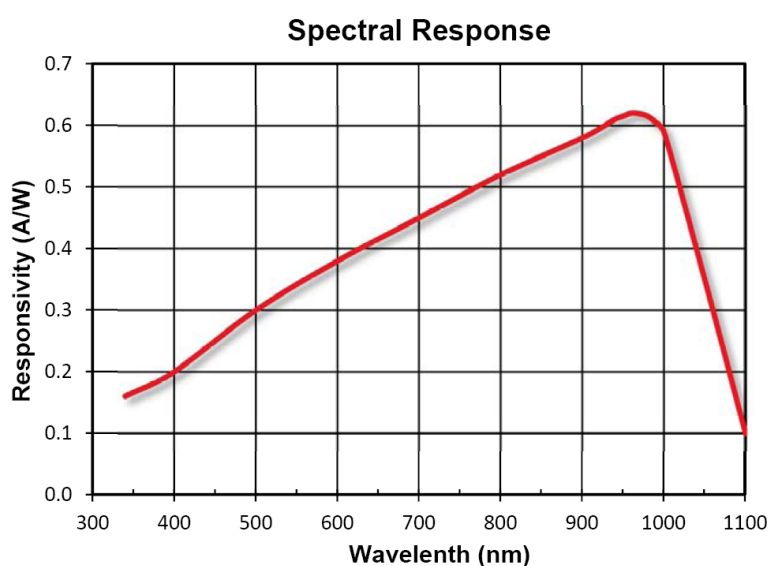


Ilustración 31: Gráfica de la responsividad del fotodetector PDA100A-EC en función de la longitud de onda

Para obtener el valor de la potencia óptica incidente en función del valor de tensión obtenido a la salida del amplificador de transimpedancia hay que aplicar la siguiente fórmula:

$$P_o \quad (W) \quad \frac{(V)}{(A \cdot W) \cdot G(V \cdot A)} \quad \frac{(V)}{(V \cdot A)} \quad \frac{(V)}{(V)}$$

Aplicando la fórmula a los valores de tensión obtenidos, se obtienen los valores de potencia óptica emitida por el módulo láser para los distintos valores de corriente aplicados. En la ilustración 32 se muestra la gráfica con la curva de la potencia óptica emitida por el módulo láser en función de la corriente aplicada.

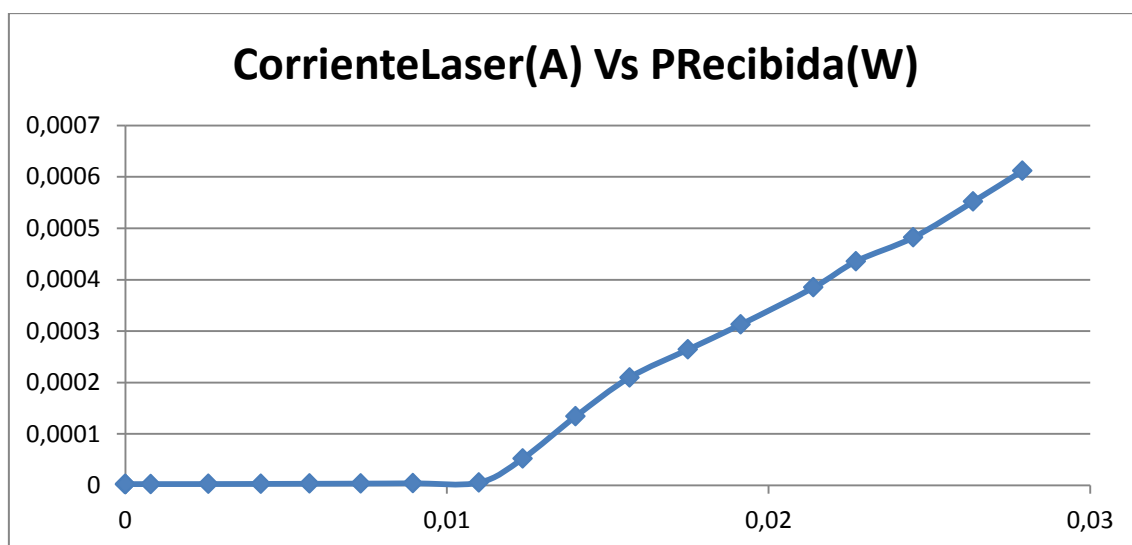


Ilustración 32: Gráfico de la corriente generada en el fotodetector en función de la potencia óptica recibida

3.1.2 Circuito de acondicionamiento

En la ilustración 33 se presenta un diagrama de bloques del circuito de acondicionamiento del emisor óptico.

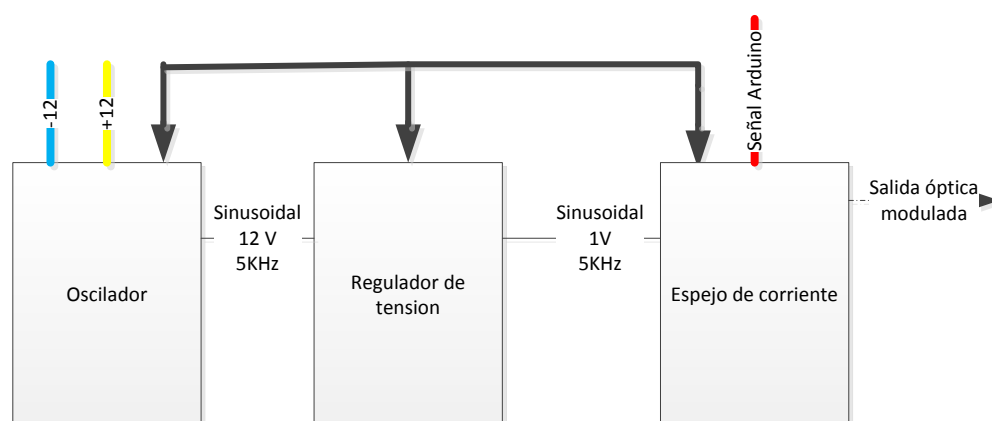


Ilustración 33: Diagrama de bloques del circuito de acondicionamiento del emisor óptico

Para una mejor explicación se ha dividido el esquemático en tres secciones: Fuente de corriente, Oscilador y Divisor de tensión.

Fuente de corriente

Se ha optado por emplear un esquema con un transistor BJT configurado en modo de fuente de corriente para la excitación del módulo láser. El circuito es mostrado en la ilustración 34. Este esquema permite realizar la modulación del láser empleando una fuente alterna. La opción de modular la señal emitida por el módulo láser se ha tenido en cuenta para poder filtrar en recepción el ruido introducido por la luz ambiente.

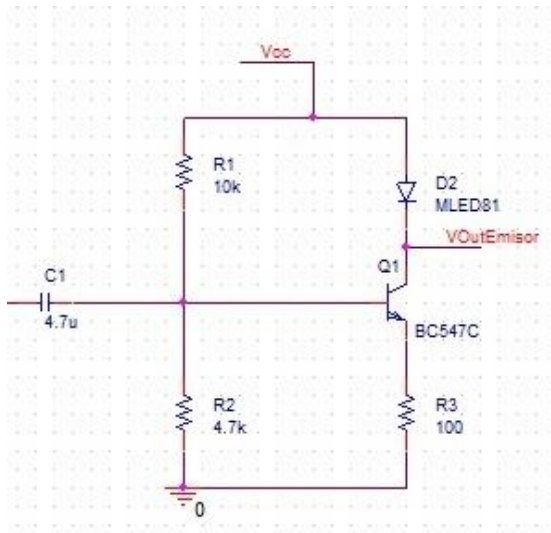


Ilustración 34: Circuito fuente de corriente

En base a la caracterización realizada del módulo láser, se ha considerado que con un valor máximo de corriente de 15mA es suficiente para que el módulo láser emita la potencia necesaria para que el haz de luz alcance el fotodetector pero no sea perjudicial para el usuario del sistema. Por este motivo se ha diseñado el circuito para tener una corriente media de 9mA, junto con un valor de V_{re} de 0.9V.

Considerando que la β del transistor es de 300,

Para el cálculo de las resistencias de la base, considerando que la corriente de la base es pequeña:

Aplicando la condición de

Con ello:

Verificando la condición de saturación:

Comprobamos que estamos en **ZONA ACTIVA**

Oscilador

Puesto que el dispositivo está pensado para su empleo en polideportivos donde su iluminación puede interferir en el correcto funcionamiento del sistema, se ha decidido realizar la modulación del haz de luz emitido por el módulo láser para de esa forma poder filtrar en el detector la luz ambiente. Puesto que la frecuencia de funcionamiento de los sistemas de iluminación es baja, 50 – 100Hz, se ha fijado en 5kHz la frecuencia de modulación del módulo láser.

Para el diseño del oscilador se ha optado por emplear un oscilador mediante un amplificador operacional TL082 en la configuración de *punto de Wien*, como el mostrado en la ilustración 35. No se ha optado por el uso de osciladores basados en cristal de cuarzo puesto que éstos se encuentran disponibles para una banda de frecuencias del orden de Megahertzios, lo que se hace excesivo en este caso.

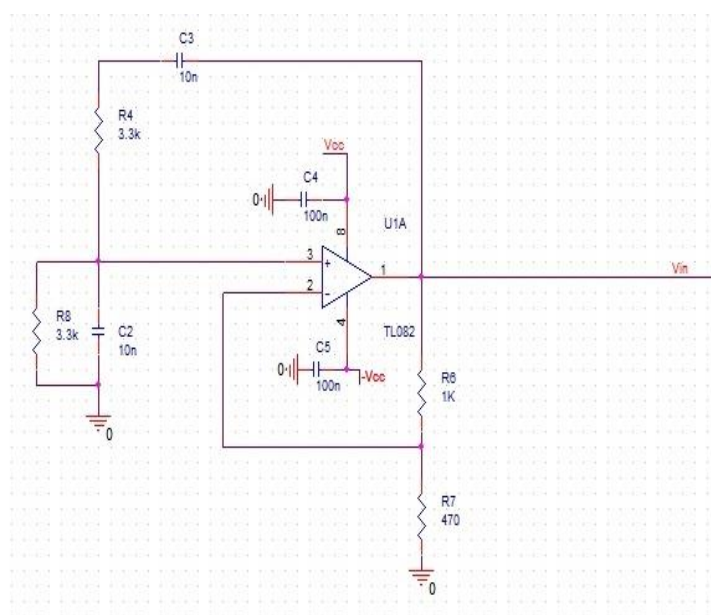


Ilustración 35: Esquema del circuito oscilador en puente de Wien.

Donde la frecuencia de corte es — y como condición de oscilación se tiene que —

Para el cálculo de la resistencias R_4 y R_8 se fija el valor de la frecuencia en 5KHz como ya se ha mencionado anteriormente y escoge un valor de 10nF para los condensadores C_2 y C_3 , con lo cual, el valor de las resistencias es de 3.3k Ω .



3. DESARROLLO DEL HARDWARE DEL SISTEMA

Para la obtención de la resistencia R_7 se fija el valor de R_6 a $1k\Omega$, con lo que la resistencia R_7 queda de 500Ω , siendo 470Ω el valor normalizado más próximo.

En la ilustración 36 se presenta la forma de onda de la tensión medida a la salida del oscilador.

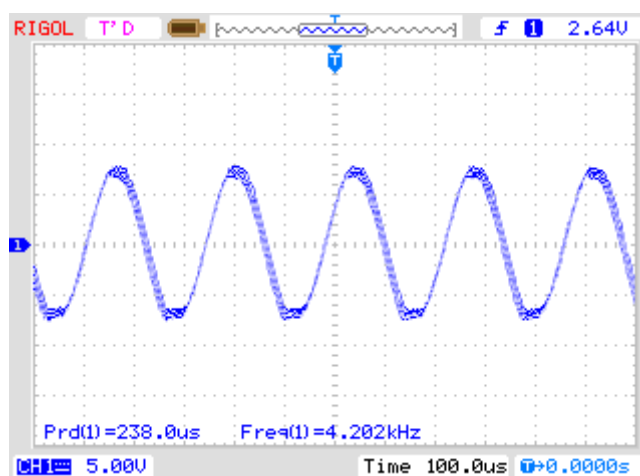


Ilustración 36: Forma de onda de la tensión de salida del circuito oscilador

Se puede comprobar que la señal tiene una frecuencia de $4.2kHz$ y una amplitud de aproximadamente $10V$. La tensión de pico obtenida a la salida del circuito está cercana a la tensión de alimentación de los amplificadores operacionales que es de $\pm 12V$.

Ajuste de la tensión alterna

Para evitar que el transistor bipolar (BC547B) del circuito de la fuente de corriente cambie de zona de funcionamiento, se ha optado por reducir la tensión alterna de entrada a dicho circuito a menos de $1V_p$, por ello se ha diseñado un divisor de tensión, como el mostrado en la ilustración 37, para obtener $1V$ ante $12V$ de entrada.

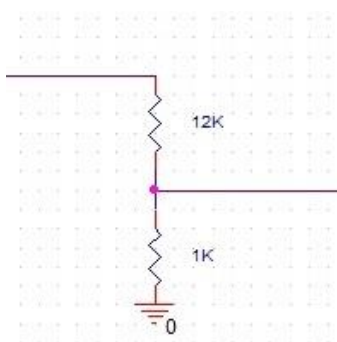


Ilustración 37: Circuito divisor de tensión

Escogiendo las resistencias $R_2 = 1k\Omega$ y $R_1 = 12k\Omega$, se obtiene una tensión de salida de $0.93V$ para una tensión de entrada de $12V$.

3. DESARROLLO DEL HARDWARE DEL SISTEMA

En la ilustración 38 se muestran las formas de onda de la tensión de entrada (canal 2) y de la tensión de salida (canal 1), comprobando que se obtiene la señal deseada:

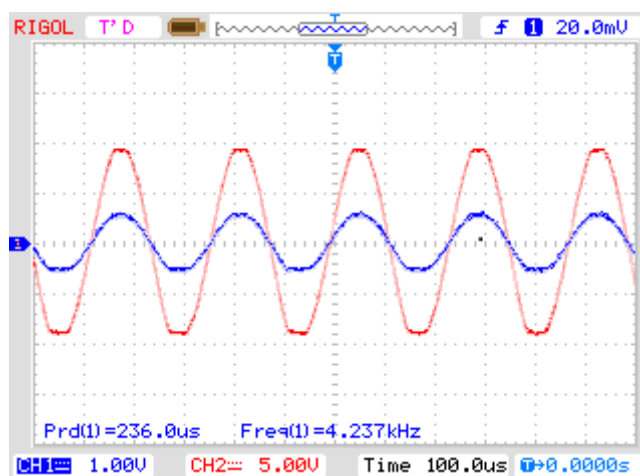


Ilustración 38: Formas de onda en la entrada (CH2) y a la salida (CH1) del atenuador

La señal de entrada (canal 2) es de aproximadamente de 10V de amplitud, mientras que a la salida (canal 1) es de aproximadamente 1V de amplitud.

Circuito completo

En la ilustración 39 se presenta el circuito de acondicionamiento una vez juntadas sus etapas.

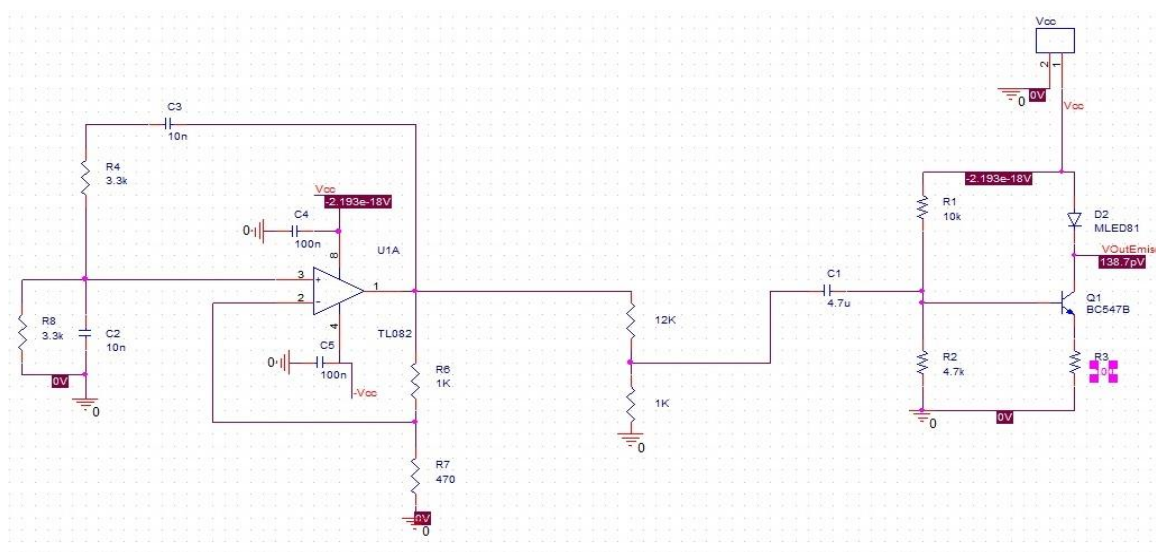


Ilustración 39: Circuito emisor completo

La tensión de alimentación aplicada a los amplificadores operacionales TL082 es de $\pm 12V$, mientras que la tensión de alimentación del módulo láser es de 5V y proviene de la placa del microcontrolador.

En la ilustración 40 se muestra la forma de onda de la tensión proporcionada al módulo láser una vez soldada la placa de circuito impreso en el laboratorio.

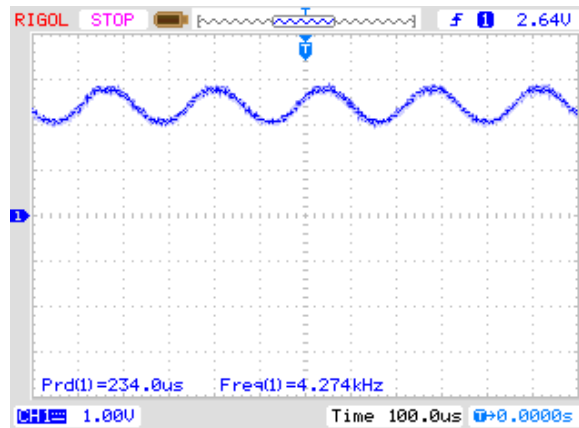


Ilustración 40: Forma de onda de la tensión proporcionada al módulo láser

Se puede observar que la señal de tensión del láser tiene un nivel de continua de 2.5V, con una señal sinusoidal superpuesta de 4.27kHz de frecuencia y 0.5V de amplitud.

3.1.3 Placa de circuito impreso

Se ha fabricado una placa de circuito impreso para la implementación del circuito de acondicionamiento de cada emisor óptico. Para el diseño de las placas de circuito impreso se ha optado por el uso del programa *OrCad 15.7 Layout* disponible en los ordenadores de la universidad.

En la ilustración 41 se muestra el diseño realizado para la fabricación de la placa de circuito impreso. El zócalo de conexión del módulo láser se encuentra en el centro de la placa. En el esquemático se han utilizado conexiones de 3 pines puesto que en la implementación se han empleado clemas de dos pines con separación de 200 mils entre ellos. En los extremos se han colocado los Leds de aviso para indicar al usuario el módulo láser que se encuentra activo.

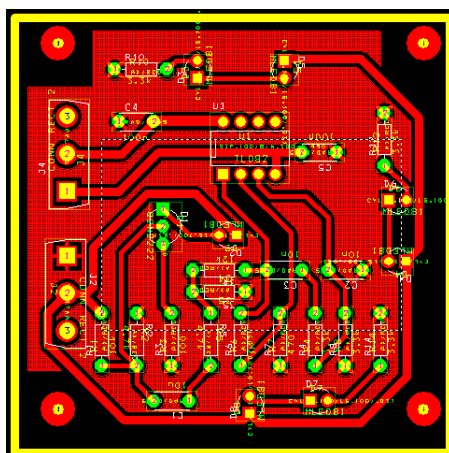


Ilustración 41: Diseño de la placa de circuito impreso del emisor

En la ilustración 42 se muestra la placa de circuito impreso fabricada mientras que en la ilustración 43 se presenta la placa de circuito impreso con los componentes soldados.

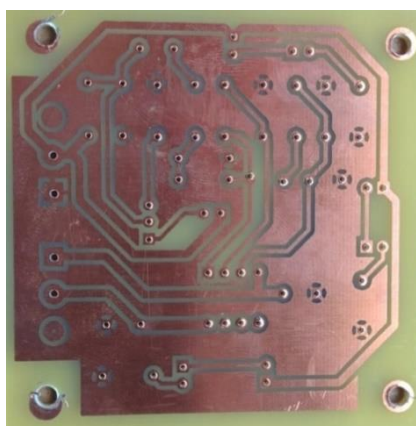


Ilustración 42: Placa de circuito impreso del emisor fabricada

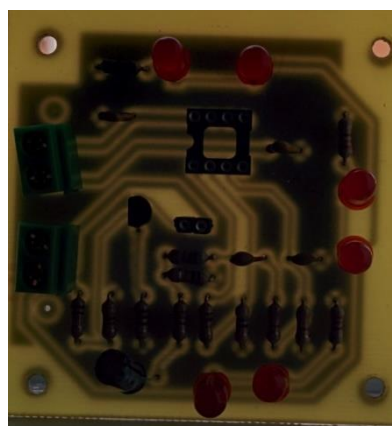


Ilustración 43: Placa del circuito impreso del emisor con los componentes soldados

3.1.4 Matriz Leds

Como ya se ha comentado previamente, en la placa del circuito emisor se han dispuesto unos Leds con el objetivo de avisar al usuario de cuál es el emisor óptico que se enciende en cada momento. De forma adicional, en el centro de la estructura del emisor se ha añadido una matriz Led que también indica mediante una flecha el emisor óptico activo en cada momento.

La matriz Led empleada que contiene 8 filas y 8 columnas, como se muestra en la ilustración 44, donde las columnas corresponden a los ánodos de cada Led y las filas a sus cátodos tal y como se muestra en la ilustración 45.

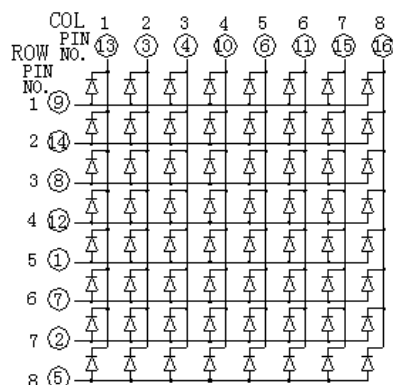


Ilustración 44: Matriz LED 8x8

Ilustración 45: Esquema interno de la matriz de Leds

Esta matriz LED se ha fijado a la estructura mediante una caja, de forma similar a como se ha realizado con los circuitos de acondicionamiento de los emisores. En la ilustración 46 se muestra el resultado tras el montaje de la matriz de LED en la estructura del emisor.

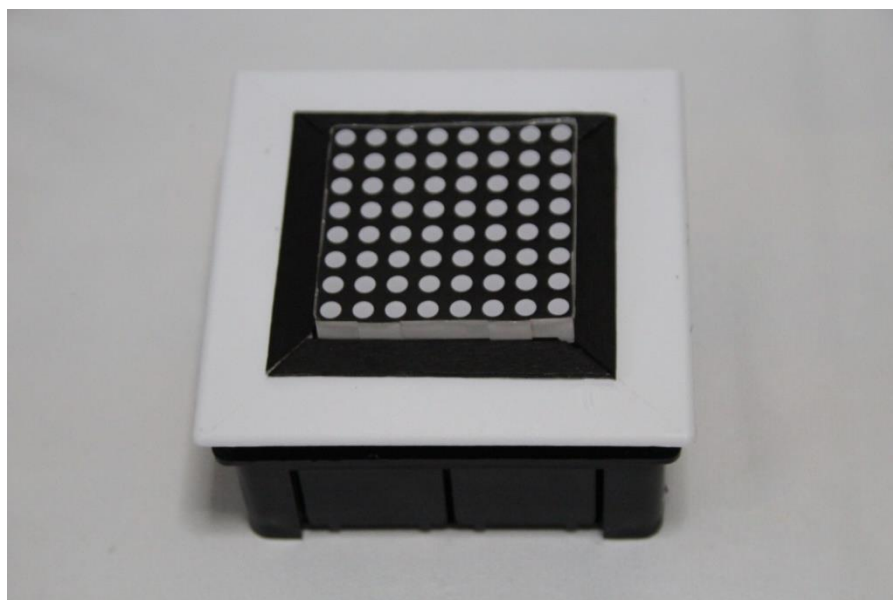


Ilustración 46: Matriz LED 8x8 fijada a la estructura del emisor

El resultado final de la matriz de Leds con las diferentes flechas de indicación ya programadas se muestra en la ilustración 47.

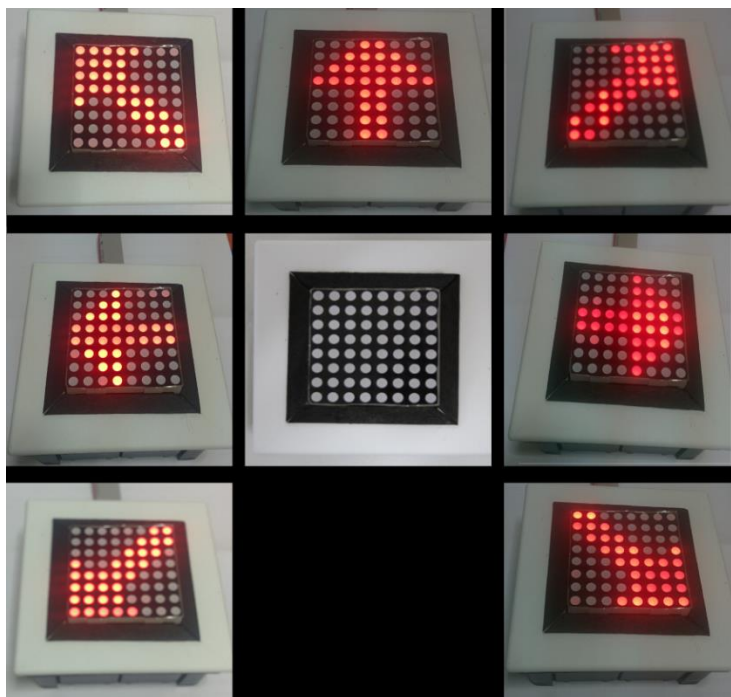


Ilustración 47: Detalle de las diferentes flechas mostradas en la matriz LED 8x8

3.1.5 Altavoz

Se ha incorporado al proyecto un altavoz de 8 ohm, que da dos tonos cada vez que se corta el haz de luz. Esta función es facilitada al usuario el reconocimiento de que se ha interceptado el haz de luz, y por tanto que se ha cumplido con el objetivo. En la ilustración 48 se muestra una imagen del altavoz empleado.



Ilustración 48: Vista frontal y trasera del Altavoz empleado en el sistema de emisión

3.2 Sistema del receptor óptico

3.2.1 Detector óptico

Para implementar la barrera óptica se ha de disponer de un elemento que detecte si el haz de luz ha sido interceptado. Para realizar esta operación se ha empleado un detector óptico. En el

diseño se ha optado por el detector óptico *BPW40* del fabricante *Vishay* puesto que sus características permiten su uso en esta aplicación. El emisor óptico empleado emite a una longitud de onda central de 635nm que se encuentra en el rango de operación del detector óptico, de 520nm a 950nm. En la ilustración 49 se presenta una imagen del detector óptico.



Ilustración 49: Detector óptico BPW40 de Vishay

3.2.2 Circuito de acondicionamiento

En la ilustración 50 se muestra el esquema completo del circuito de acondicionamiento.

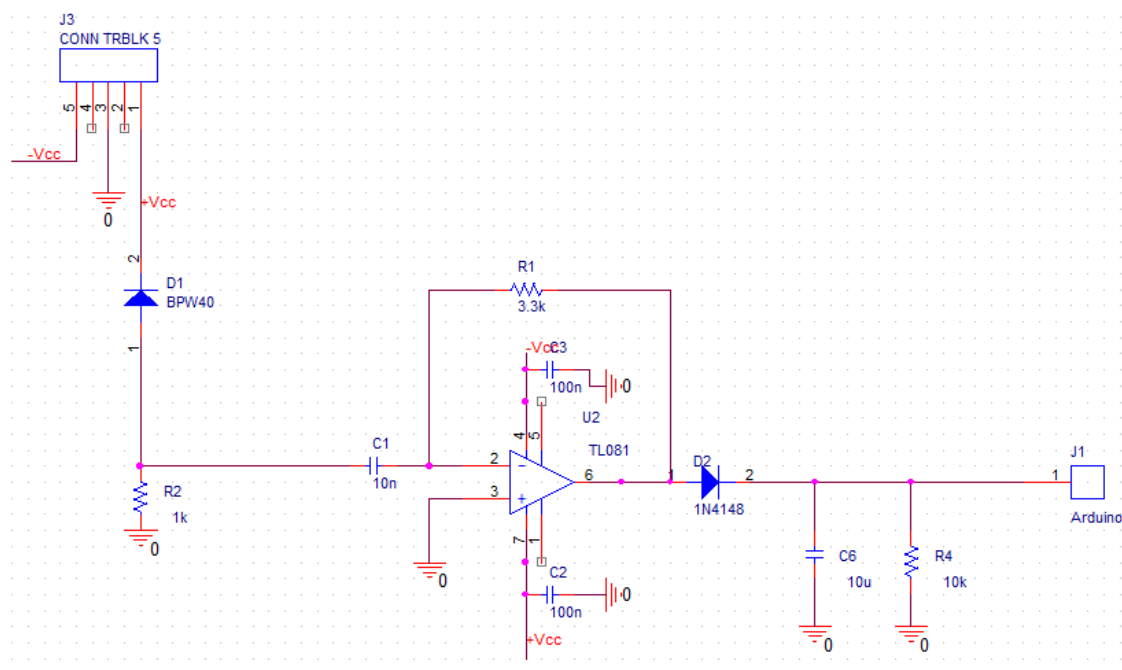


Ilustración 50: Esquema del circuito acondicionador del receptor

Primeramente se ha empleado una resistencia de $1\text{k}\Omega$, resistencia R_2 , para convertir la corriente generada por el detector óptico en tensión. A continuación se ha empleado un filtro activo con el amplificador operacional TL081. Se ha establecido que la frecuencia de corte sea de 5kHz, puesto que deja pasar la señal procedente del emisor óptico, y filtra adecuadamente el ruido producido por la luz ambiente. De acuerdo a la expresión de la frecuencia de corte, se ha escogido un valor para el condensador de 10nF, por lo que obtenemos un valor de $R_1=3.3\text{k}\Omega$ para la resistencia.

3. DESARROLLO DEL HARDWARE DEL SISTEMA

Una vez filtrado el ruido producido por la luz ambiente se pretende obtener un nivel de continua para poder determinar si el haz de luz se ha interceptado. Para ello, la señal de salida del filtro activo es rectificada mediante el *diódo 1N4148*, y se realiza un filtrado paso bajo mediante un circuito RC (condensador C_6 y resistencia R_4). Se ha escogido un valor de $10\mu\text{F}$ para el condensador C_6 , y $10\text{k}\Omega$ para la resistencia R_4 .

En la ilustración 51 se muestra la forma de onda obtenida en el laboratorio cuando se hace incidir en el detector óptico el haz de luz procedente del emisor. En el canal 1 se puede observar la salida del detector óptico, y en el canal 2 la señal de estimulación del emisor óptico.

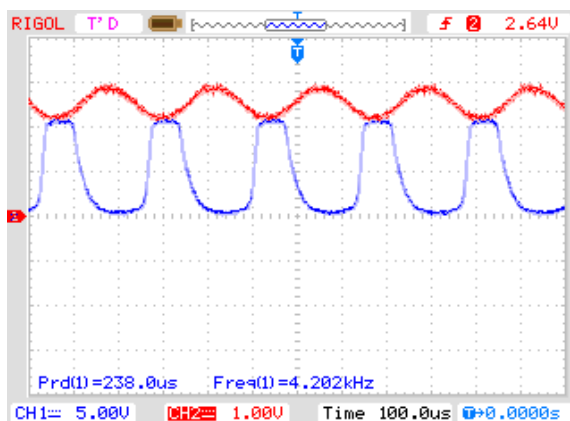


Ilustración 51: Salida del detector óptico cuando incide el haz de luz generado por el emisor óptico

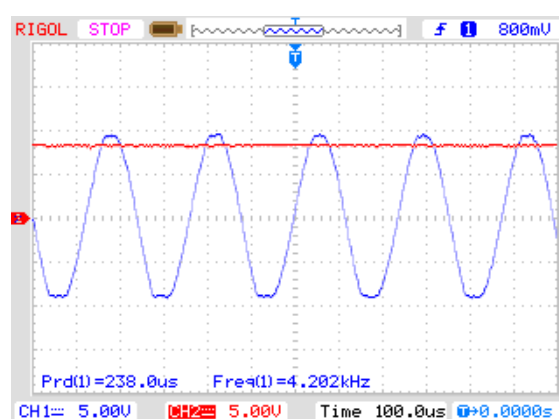


Ilustración 52: Salida del circuito de acondicionamiento del detector óptico

En la ilustración 52, se muestra la salida del circuito del detector cuando el haz de luz incide sobre él. En el canal 1 se presenta la señal de excitación del circuito emisor (salida del oscilador), mientras que en el canal 2 se muestra la señal de salida del circuito del detector cuando el haz de luz incide sobre él. La salida para ese caso es un nivel de continua que le sirve al sistema de control para detectar si el emisor óptico recibe el haz de luz procedente del emisor o no.

Una variable muy importante en este proyecto es el tiempo de respuesta del sistema. En el caso del ser humano, el tiempo de respuesta ante un estímulo visual es mayor de 200ms [8].

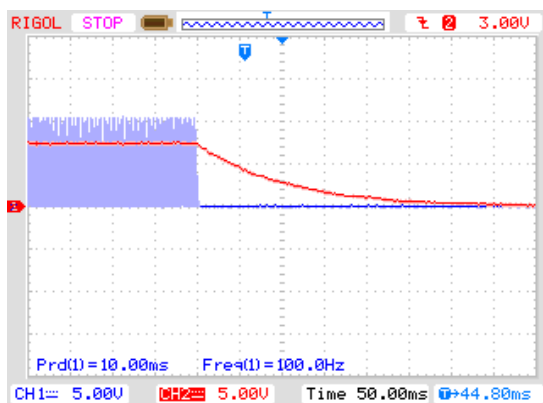


Ilustración 53: Flanco de bajada de la señal de salida del circuito ante una interrupción en el haz de luz

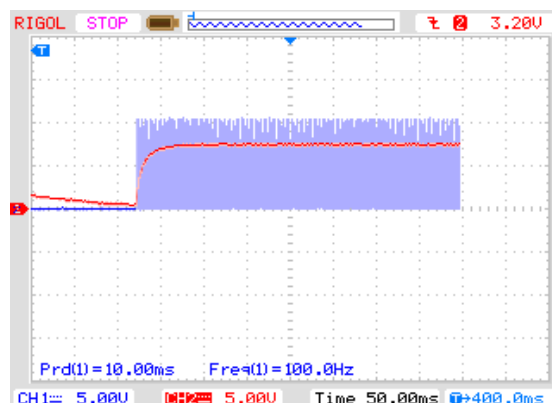


Ilustración 54: Flanco de subida de la señal de salida del circuito después de una interrupción en el haz de luz

En la ilustración 53 se muestra un flanco de bajada en la señal de salida del circuito de detección cuando se produce una interrupción en el haz de luz procedente del emisor óptico. El canal 1 representa la señal generada en el detector óptico, mientras que el canal 2 se corresponde con la salida del circuito de acondicionamiento del detector óptico. El tiempo de bajada es inferior a 200ms, menor que el tiempo de respuesta de un usuario.

En la ilustración 54 se muestra el caso del flanco de subida en la señal de salida del circuito de detección después de que se produzca una interrupción en el haz de luz procedente del emisor óptico. El canal 1 representa la señal generada en el detector óptico, mientras que el canal 2 se corresponde con la salida del circuito de acondicionamiento del detector óptico. El tiempo de subida es algo inferior al medio para el tiempo de bajada.

3.2.3 Placa de circuito impreso

Se ha fabricado una placa de circuito impreso para la implementación del circuito de acondicionamiento de cada receptor óptico. Para el diseño de las placas de circuito impreso se ha optado por el uso del programa OrCad 15.7 Layout.

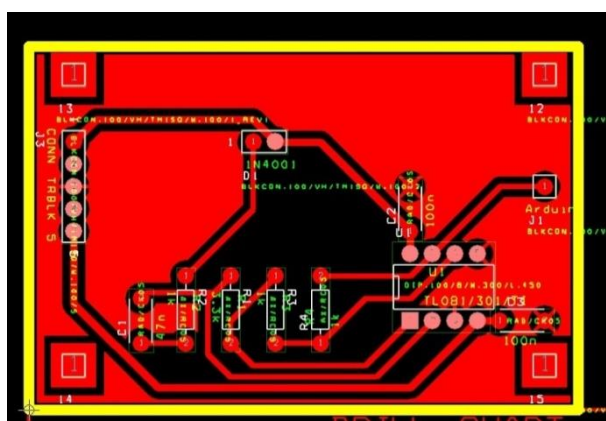


Ilustración 55: PCB Receptor Software

En la ilustración 55 se muestra el diseño realizado para la fabricación de la placa de circuito impreso. El detector óptico se ha emplazado centrado en la placa de circuito impreso, (nombrado como D1). Se ha dejado un gran espacio libre alrededor para evitar problemas y hacer más sencillo el mecanizado.

3. DESARROLLO DEL HARDWARE DEL SISTEMA

En el esquemático se ha empleado una conexión de 5 pines puesto que en la implementación se ha empleado una clema de tres pines con separación de 200 mils entre ellos.

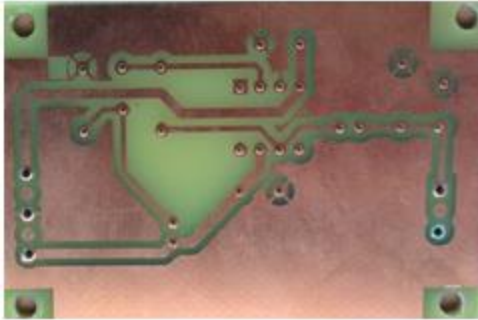


Ilustración 56: PCB Receptor Física

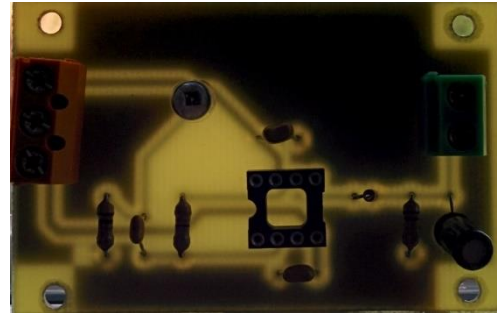


Ilustración 57: PCB Receptor soldado

En la ilustración 56 se muestra la placa de circuito impreso fabricada mientras que en la ilustración 57 se presenta la placa de circuito impreso con los componentes soldados.

3.3 Bloque de control

Para realizar el control de los diferentes bloques que forman el sistema: emisores ópticos, detectores ópticos, matriz de Leds, y también para realizar la comunicación con un ordenador personal se ha decidido emplear un microcontrolador. Debido a la capacidad de cálculo, los terminales disponibles para realizar las conexiones y el bajo coste, se ha optado por emplear el microcontrolador Arduino MEGA 2560.

Arduino es un microcontrolador de bajo coste y software abierto, se utilizaba inicialmente en decoración, como forma eficaz y sencilla de controlar Leds, pero con su globalización se ha causado su uso masivo en robótica, porque es fácil e intuitivo de programar.

En el presente proyecto se ha empleado el Arduino MEGA 2560 que está basado en el ATmega2560, tiene 54 pines digitales 15 de los cuales pueden ser usados como señales moduladas en la anchura de pulso (PWM) y 16 entradas analógicas.

En la ilustración 58 se muestra una fotografía de la tarjeta del Arduino MEGA 2560. Esta placa está protegida contra sobre tensiones mediante un fusible de 500mA. La placa del Arduino es capaz de suministrar tensiones de alimentación de 5V y 3.3V, y la corriente máxima que puede proporcionar cada pin es de 40mA, valor suficiente para la implementación del presente trabajo fin de grado.

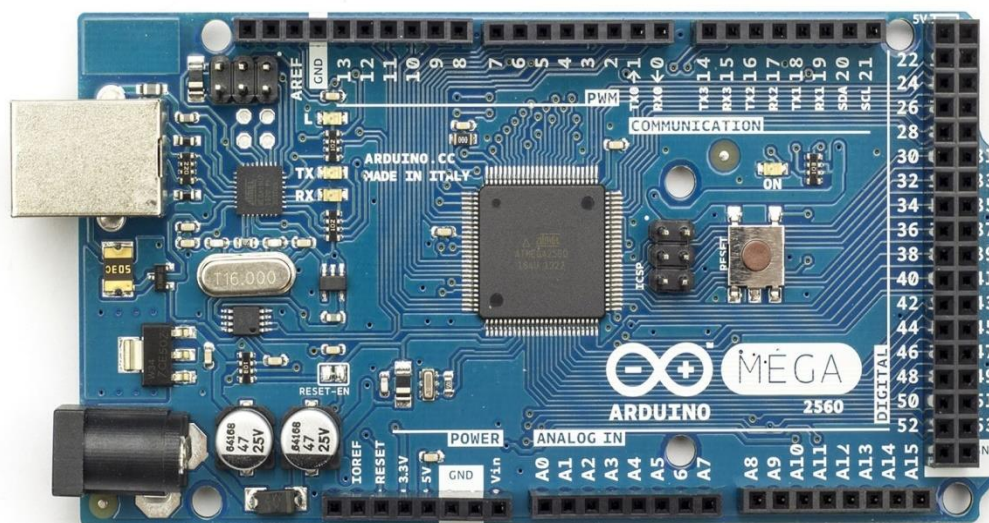


Ilustración 58: Arduino MEGA

La tensión de alimentación de la placa puede variar un rango de 6V a 20V, pero el fabricante no asegura que la placa sea estable y no sufra daños fuera del rango de alimentación de 7V a 12V. En el sistema desarrollado la alimentación es proporcionada mediante un cable USB conectado al ordenador personal.

3.3.1 Placa de conexiones para el microcontrolador

Para facilitar todas las conexiones del microcontrolador se ha creado una tarjeta conocida como "Shield", que se sitúa encima de la placa del microcontrolador, haciendo las conexiones en el "shield", protegiendo la integridad de la placa arduino.

El "shield" ha sido creado en una placa de puntos, incorporando los conectores y soldando directamente los cables a los pines en los que se van a conectar. En la ilustración 59 se muestra el "shield" creado.



Ilustración 59: Vista la placa de conexiones para el microcontrolador Arduino MEGA 2560

3.3.2 Módulo Joystick

Para facilitar el control del dispositivo se ha empleado un módulo joystick. El modelo elegido es el empleado en los mandos de la videoconsolas PlayStation 2 de Sony. En la Ilustración 60 se muestra una imagen de este módulo.

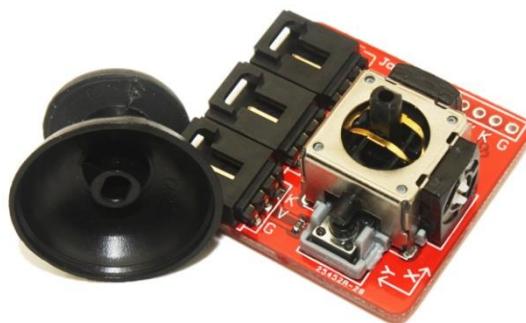


Ilustración 60: Módulo Joystick de la videoconsola PlayStation 2.

Este tipo de mando consta de dos potenciómetros, uno puesto en el eje X y otro puesto en el eje Y, de forma que se puede hacer una lectura analógica y así saber en qué punto del recorrido se encuentra el joystick. Además dispone de un pulsado para presionar con el mando del joystick.

El módulo joystick se ha conectado a unos cables de 1.5m de longitud que se conectan en la placa de conexiones emplazada sobre la tarjeta arduino. Las señales resultantes del divisor resistivo del potenciómetro están conectadas a los pines analógicos, configurados como entradas.

3.4 Sistema de alimentación

Para el correcto funcionamiento de los diferentes bloques que forman el circuito es preciso suministrarles las tensiones de alimentación adecuadas. En el caso del bloque de emisores y receptores se ha optado por emplear una fuente de alimentación como las utilizadas en los ordenadores de sobremesa. Este tipo de fuente es capaz de proporcionar las tensiones de +12V y -12V necesarias para la alimentación de los Amplificadores Operacionales a partir de la tensión de la red. Los 5V necesarios para el funcionamiento de la fuente de corriente que polariza el módulo láser proviene de las salidas del microprocesador, Arduino MEGA 2560. A su vez para la placa del microcontrolador Arduino MEGA 2560 se ha optado por obtener la tensión de alimentación por medio del cable USB conectado al ordenador personal.

La corriente máxima demandada por la placa del microcontrolador es de 260mA (medida sobre la placa en máximo funcionamiento, inferior a la corriente máxima suministrada por el puerto USB, (500mA o 900mA en función de su versión)

Se ha escogido la fuente de alimentación LC420H-12 de 420W con tecnología PFC (Power Factor Correction) que disminuye la cantidad de armónicos que se insertan en la red, y que proporciona las tensiones de alimentación $\pm 12V$, a un precio económico. En la ilustración 61 se muestra una fotografía de la fuente de alimentación empleada en este trabajo, y en la ilustración 62 se presenta el detalle con la indicación el código de colores empleado en los cables de la fuente de alimentación.



Ilustración 61: Fuente de alimentación LC420H-12

Estas fuentes de alimentación están diseñadas para trabajar con un ordenador personal de sobremesa. Para su funcionamiento disponen de la señal de control PS-ON que hace que la fuente sólo esté activa cuando esta señal se encuentre a nivel bajo. Por este motivo, para que la fuente de alimentación funcione correctamente, es necesario cortocircuitar la señal PS-ON con tierra, y de esta forma poder utilizarla independiente de un ordenador personal. En la ilustración 63 se muestra el detalle del conexionado de la señal PS-ON.

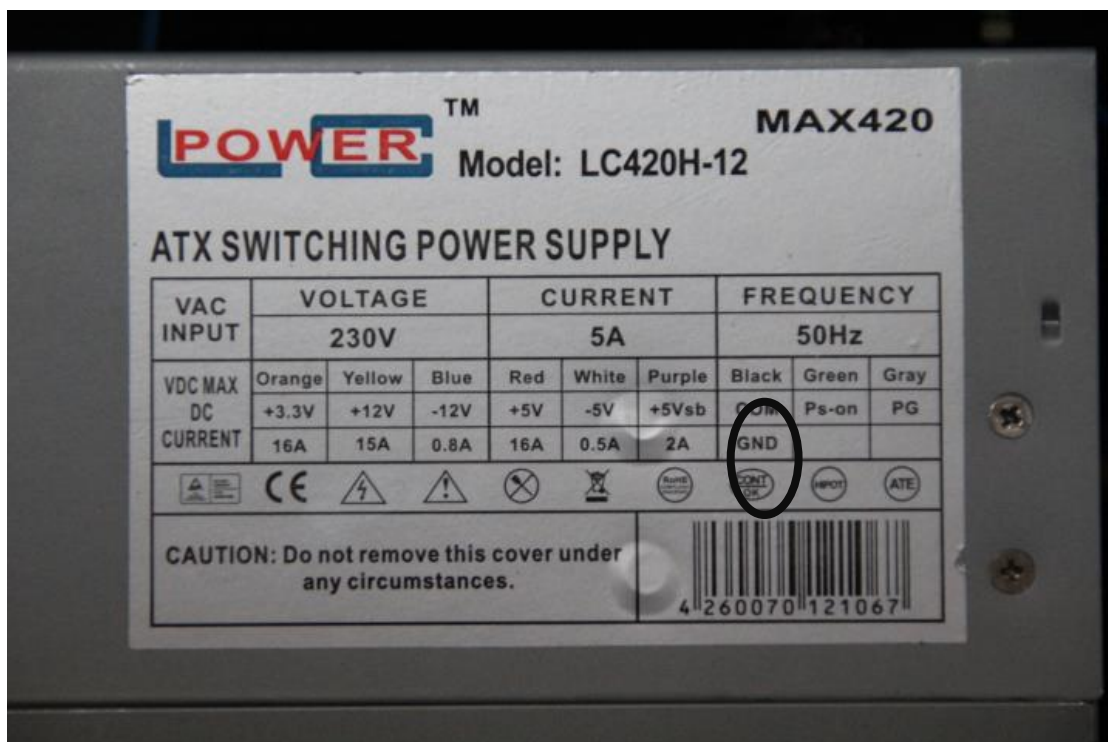


Ilustración 62: Detalle etiqueta identificadora de cables, en el lateral de la fuente de alimentación

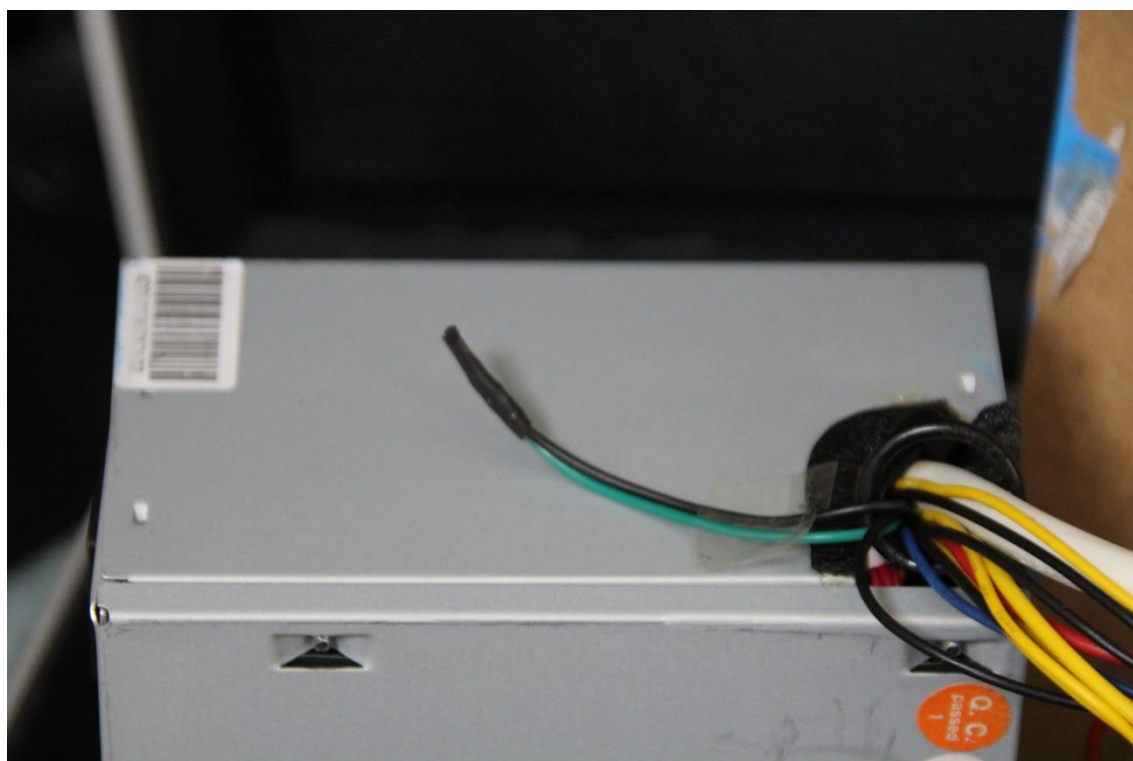


Ilustración 63: Detalle de cortocircuito entre PS-ON (verde) y GND (negro)

Se ha utilizado un maletín similar al usado en el receptor, pero de menor tamaño, para organizar sus cables y a su vez para proteger a la fuente. Se han añadido un conector de red y un interruptor adicional para facilitar su conexión, ya que a pesar de que la fuente de

alimentación seleccionada tiene su propio conector e interruptor, al emplazarla en el maletín se hace muy complicado su empleo. En la ilustración 64 se presenta la imagen del maletín empleado junto con la fuente de alimentación.



Ilustración 64: Foto del maletín con la fuente de alimentación.

3.5 Cableado y conexión

El cableado es sin duda uno de los puntos críticos en todos los aparatos electrónicos, un exceso de cableado y un conexionado demasiado complejo puede eclipsar la utilidad del aparato.

Antes de empezar a explicar las conexiones, hay que conocer el número de elementos con los que el sistema cuenta, el número de conexiones necesarias y la distancia entre los distintos elementos

3.5.1 Elementos del sistema y distancias entre ellos

De acuerdo al diagrama de bloques presentado en el capítulo 2 y que se muestra en la ilustración 65, en el sistema se pueden identificar cuatro bloques de elementos:

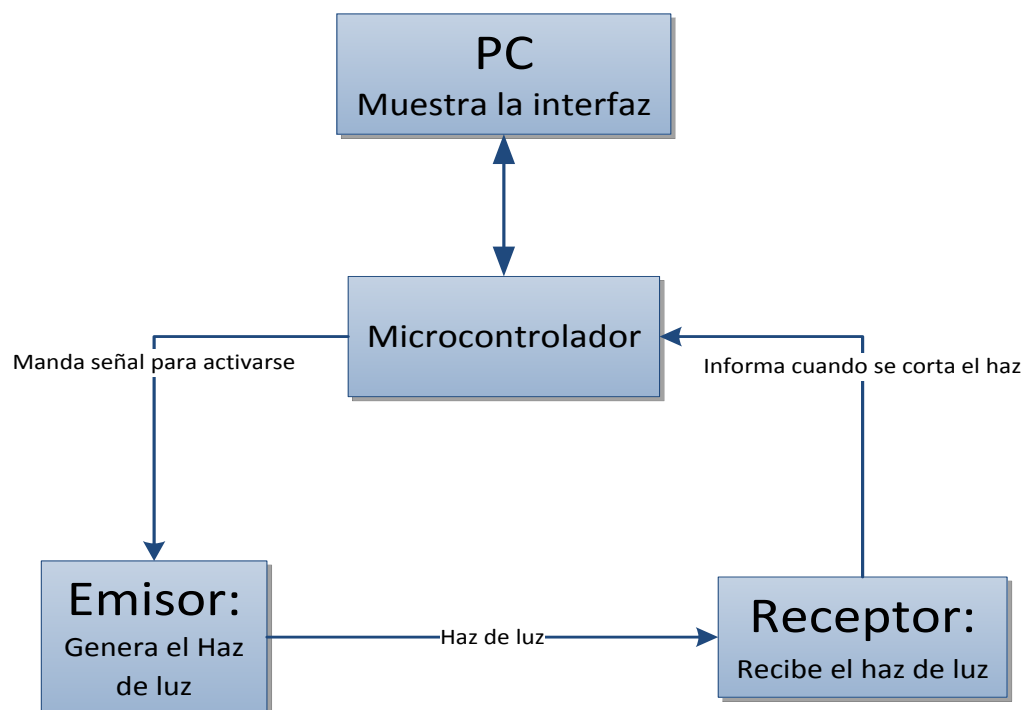


Ilustración 65: Diagrama de bloques del sistema de monitorización del rendimiento de deportistas de alto nivel

- Estructura del Emisor
- Estructura del Receptor.
- Sistema de alimentación.
- Sistema de control que incluye el ordenador personal y el microcontrolador.

También hay que conocer la separación entre los distintos elemento.

En la ilustración 66 se presenta la disposición propuesta para los distintos elementos cuando se encuentren en uso.

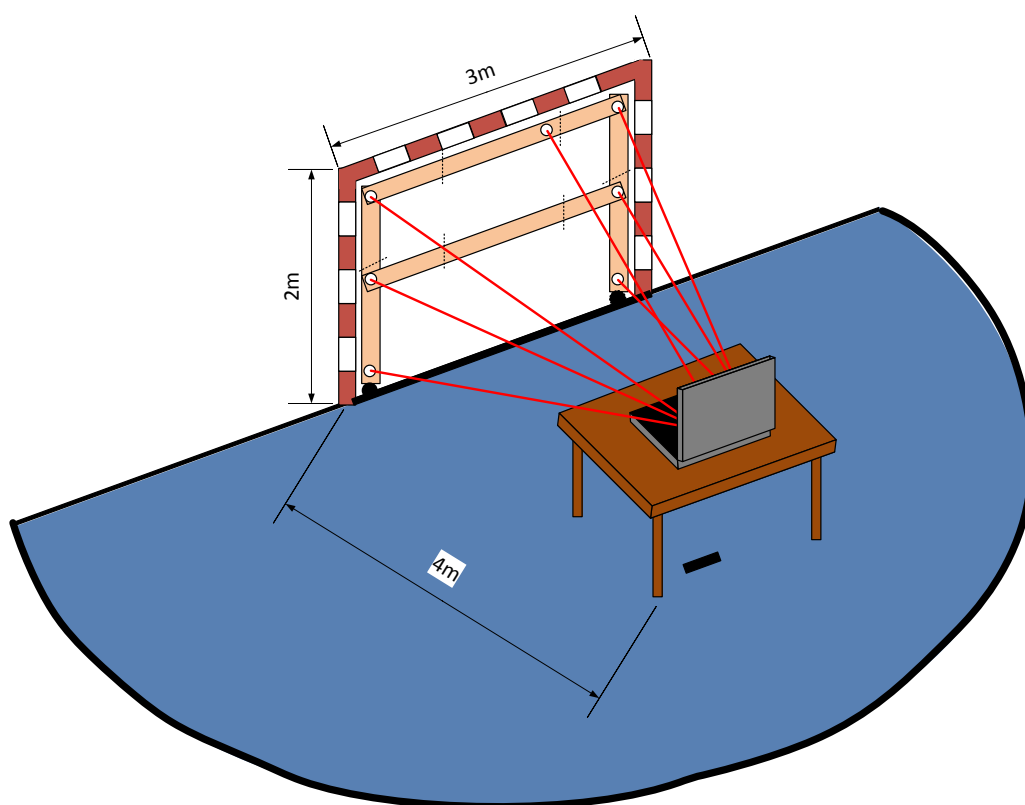


Ilustración 66: Dispositivo con la referencia de la portería

Para conocer las distancias, hay que elegir el punto de colocación de cada uno de los componentes y a partir de ahí estimar la longitud necesaria de los cables. Como se ha indicado en el capítulo de introducción, se ha elegido que entre el emisor y el receptor haya una distancia de cuatro metros. El receptor va a estar situado en una mesa junto al sistema de control. Por su parte, el sistema de alimentación se va a emplazar en el suelo junto a la citada mesa con una distancia de aproximadamente 1 metro de altura.

3.5.2 Conexiones del emisor

Cada placa del sistema emisor va alimentada a +12V, -12V y GND desde el sistema de alimentación y también se necesita la señal de control con los 5V que proviene del sistema de control.

El conexionado de las tensiones de alimentación de cada circuito emisor se puede realizar en paralelo mientras que la señal de control procedente del microcontrolador es independiente para cada emisor.

Para la distribución de las tensiones de alimentación hay que tener en cuenta que la estructura del emisor dispone de tres tubos a los que hay que alimentar, por lo que conviene alimentar a cada tubo por separado y evitar conexiones entre tubos. De esta forma, también se facilita que el tubo central y superior sean independientes y se puedan mover libremente.

Con estos datos, para realizar el conexionado se necesitan:

- 7 cables de control
- 3 cables de +12V
- 3 cables de -12V
- 3 cables de GND

En total son 16 cables, por lo que hay que encontrar un conector que permita agrupar muchos cables en poco espacio. Para esta conexión se ha optado por un conector Minifit con 6 pines, como el mostrado en la ilustración 67.

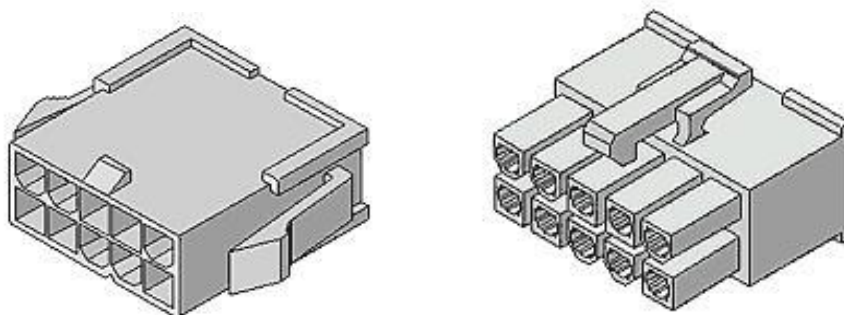


Ilustración 67: Vista frontal de los conectores hembra y macho de Minifit 10 pines

3.5.3 Conexiones del receptor

Como ya se ha mencionado en el capítulo 2, se ha diseñado un maletín para facilitar el manejo de los receptores. Por su facilidad de uso, se han empleado conectores tipo Banana, entre las que se incluyen las tres conexiones con las tensiones de alimentaciones que provienen del sistema de alimentación: +12V en amarillo, -12V en azul y GND en negro, y se han colocado 7 conectores banana de color rojo correspondiente a cada uno de las señales de lectura de cada circuito detector. En la ilustración 68 se muestra la imagen de los conectores tipo banana empleados en el sistema detector.



Ilustración 68: Vista de los conectores tipo banana como los empleados en el sistema detector

3.5.4 Conexiones del sistema de alimentación

La fuente de alimentación debe proporcionar las tensiones de alimentación al sistema emisor y al sistema receptor, por tanto:

- Debe tener 3 conectores MINIFIT idénticos a los que se usan en el emisor.
- Debe tener 3 conectores Banana hembra para alimentar al receptor

En la ilustración 69 se muestra la imagen del conexionado del sistema de alimentación.

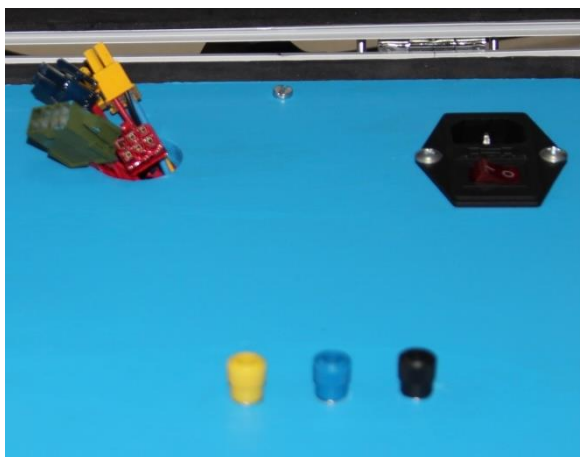


Ilustración 69: Vista del conexionado del sistema de alimentación

3.5.5 Sistema de control

El conexionado del sistema de control es la parte más compleja de las conexiones, por su variedad y cantidad de ellas en un espacio reducido. Por un lado la conexión entre el ordenador personal y el microcontrolador se realiza mediante un cable serie universal (USB). Este cable permite tanto la transmisión de datos como la alimentación del microcontrolador.

Por otro lado, para la conexión del microcontrolador con el resto de bloques, se necesitan:

- 7 conexiones que provienen del receptor y van a los pines de lectura analógicos.
- 7 conexiones que provienen del emisor y van a los pines de salida digitales.
- 9 conexiones que provienen del joystick, 3 de ellas van a los pines de lectura analógicos, otras tres a los digitales (su alimentación) y otros tres a tierra.
- 2 conexiones que provienen del altavoz.
- 16 conexiones que provienen de la matriz led.

Todas las conexiones son del tipo poste, como los mostrados en la ilustración 70, a excepción de las señales de la matriz led, que se ha optado por usar conectores para cable plano, ver ilustración 71.

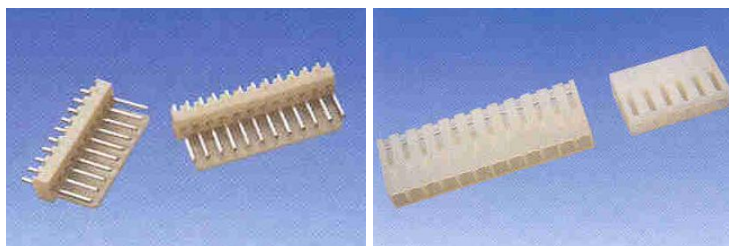


Ilustración 70: Vista del conector tipo poste

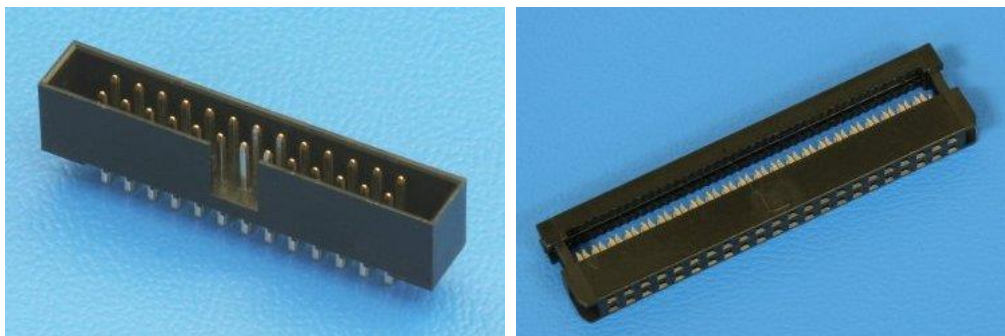


Ilustración 71: Vista del conector para cable plano

Para facilitar todas las conexiones se ha creado una tarjeta conocida como "Shield", que se sitúa encima de la placa del microcontrolador, haciendo las conexiones en el "shield", protegiendo la integridad de la placa arduino.

El "shield" ha sido creado en una placa de puntos, incorporando los conectores y soldando directamente los cables a los pines en los que se van a conectar. En la ilustración 72 se muestra el "shield" creado.



Ilustración 72: Vista la placa de conexiones para el microcontrolador Arduino MEGA 2560

3.5.6 Esquema del cableado

Una vez conocidas las distancias y los tipos de conexiones, se realiza el esquema de conexión. En la ilustración 73 se presente el esquema del cableado desarrollado para el funcionamiento del sistema para el entrenamiento y monitorización del rendimiento en deportistas de alto nivel.

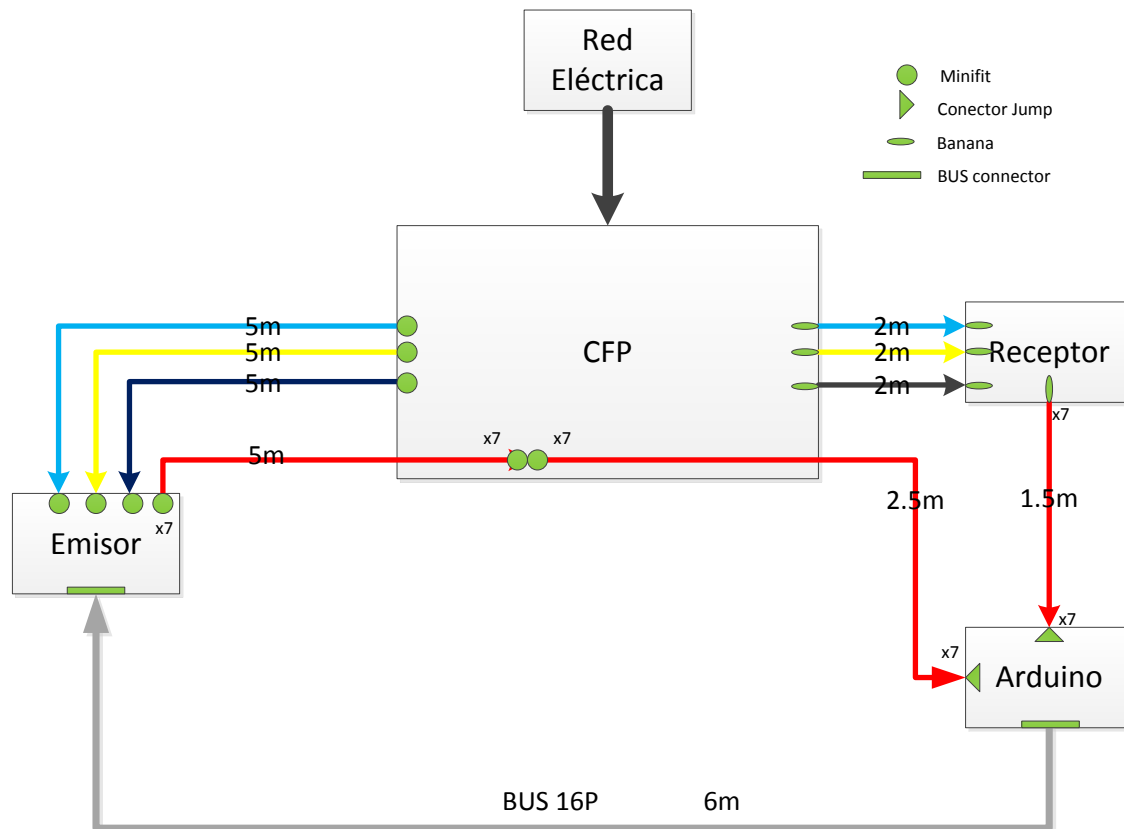


Ilustración 73: Esquema del cableado

4 DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA

4.1 Entorno de programación: Processing

Processing es un entorno de programación en JAVA, orientado principalmente a la programación gráfica y muy utilizado para la realización de interfaces.

Lo más destacable de processing es que se trata de un entorno de desarrollo integrado (IDE del inglés *Integrated Development Environment*) intuitivo y que ofrece la oportunidad de que la aplicación se puede generar en un archivo ejecutable tipo .exe, de forma que pudiera ser utilizado en otro ordenador sin la necesidad de tener instalado el programa Processing.

Para la realización de la interfaz de usuario se ha empleado la biblioteca de arduino, y se controla directamente desde la IDE de Processing y no desde la de arduino como es lo habitual.

4.2 Descripción de la Interfaz de usuario

La interfaz de usuario permite el control del funcionamiento del dispositivo para el entrenamiento y monitorización del rendimiento de deportista de alto nivel. Tiene la opción de elegir entre varios modos de funcionamiento, pero antes de explicarlos, se van a detallar los elementos que componen la interfaz. En la ilustración 74 se presenta una imagen de la interfaz creada.



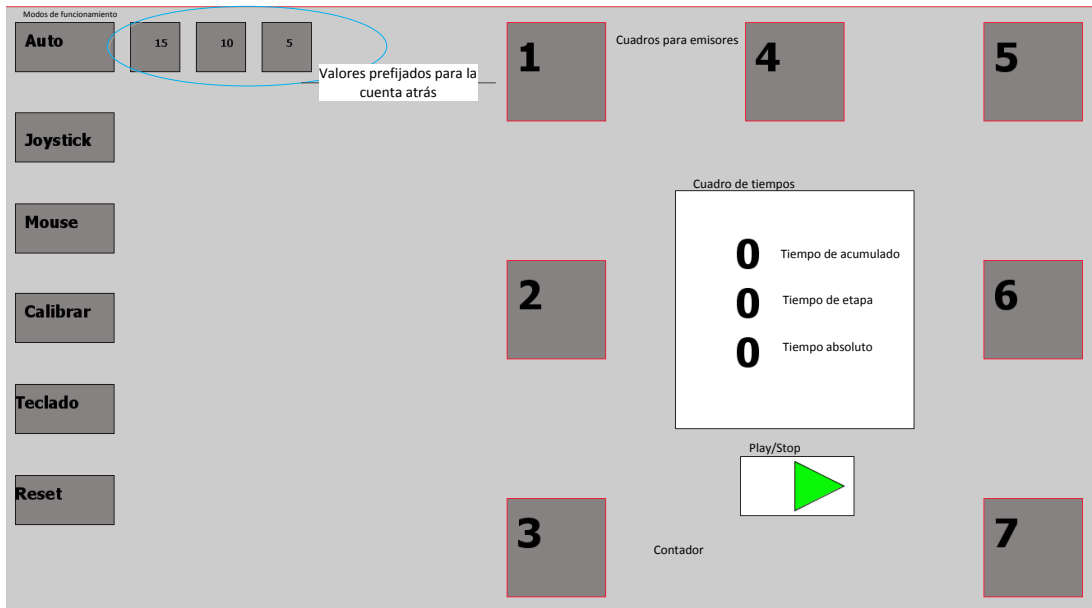


Ilustración 74: Interfaz gráfica de la aplicación de usuario

En la parte izquierda de la aplicación se encuentran los botones de selección del modo de funcionamiento: Auto, Joystick, Mouse, Calibrar, Teclado y Reset. En la parte superior, junto a los botones de selección se indican los valores prefijados para la cuenta atrás. En la parte derecha, los cuadros con los números que son los pulsadores para activar manualmente cada emisor óptico, centrado en esa parte de la interfaz se muestran los tiempos obtenidos. En la parte inferior se está el botón de comienzo/parada del ejercicio y el contador con las intercepciones del haz de luz correctas realizadas.

A continuación se detalla brevemente el funcionamiento de cada elemento:

- **Auto:** Selecciona el modo de funcionamiento automático. los emisores ópticos se van encendiendo siguiendo una secuencia aleatoria.
- **Joystick:** Selecciona el modo de funcionamiento para la activación de los emisores ópticos mediante el uso del joystick.
- **Mouse:** Selecciona el modo de funcionamiento para la activación de los emisores ópticos mediante el uso del ratón del ordenador.
- **Calibrar:** Modo en el que se encienden todos los emisores ópticos y sirve para realizar la alineación de los emisores ópticos con los detectores.
- **Teclado:** Selecciona el modo de funcionamiento para la activación de los emisores ópticos mediante el uso del teclado. Cada emisor opera mediante el uso del número asociado.
- **Cuadros para los emisores:** pulsadores para la activación de los emisores ópticos. Adicionalmente cambian de color dependiendo del estado del emisor.
- **Cuadro de Tiempos:** contiene las siguientes indicaciones temporales más relevantes temporales.
- **Pulsador Start/Stop:** permite el inicio o para del ejercicio.

- **Contador:** indica el número de repeticiones realizadas o que se desean hacer. Es un elemento común a los diferentes modos de funcionamiento.

4.3 Cuadro de tiempos

Uno de los elementos más importantes para la monitorización del rendimiento es conocer el tiempo que tarda el deportista en interceptar una barrera óptica desde que se le indica. Por ese motivo se ha incluido el cuadro con los siguientes tiempos de control, cabe recordar que el tiempo indicado se expresa en milisegundos:

- **Tiempo Absoluto:** el tiempo desde que se inicia la prueba, es decir, desde que se toca la primera barrera óptica encendida.
- **Tiempo de etapa:** es el tiempo transcurrido desde que se intercepta la última barrera óptica. Este tiempo se reinicia cada vez que hay una intercepción, almacenando su información en el tiempo acumulado.
- **Tiempo acumulado:** es el tiempo que se ha tardado en interceptar la barrera óptica y por tanto es la variable que interesa almacenar.

En la ilustración 75 se muestra el diagrama de flujo diseñado para el funcionamiento del cuadro de tiempos. Hay que comentar que este cuadro únicamente funciona en el modo manual, ya sea mouse, teclado o joystick.

En la ilustración 76 se presenta el estado del cuadro al inicio del ejercicio.

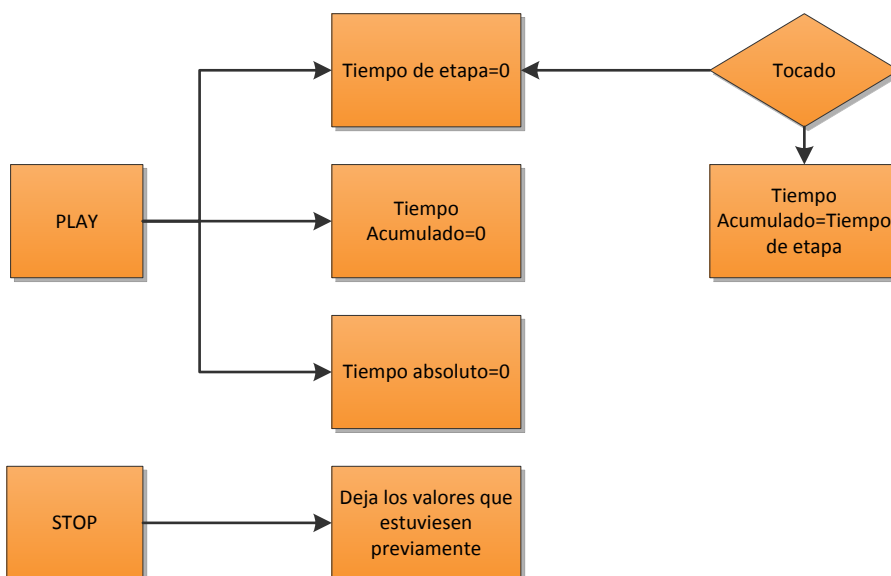


Ilustración 75: Diagrama de flujo para el control de los tiempos

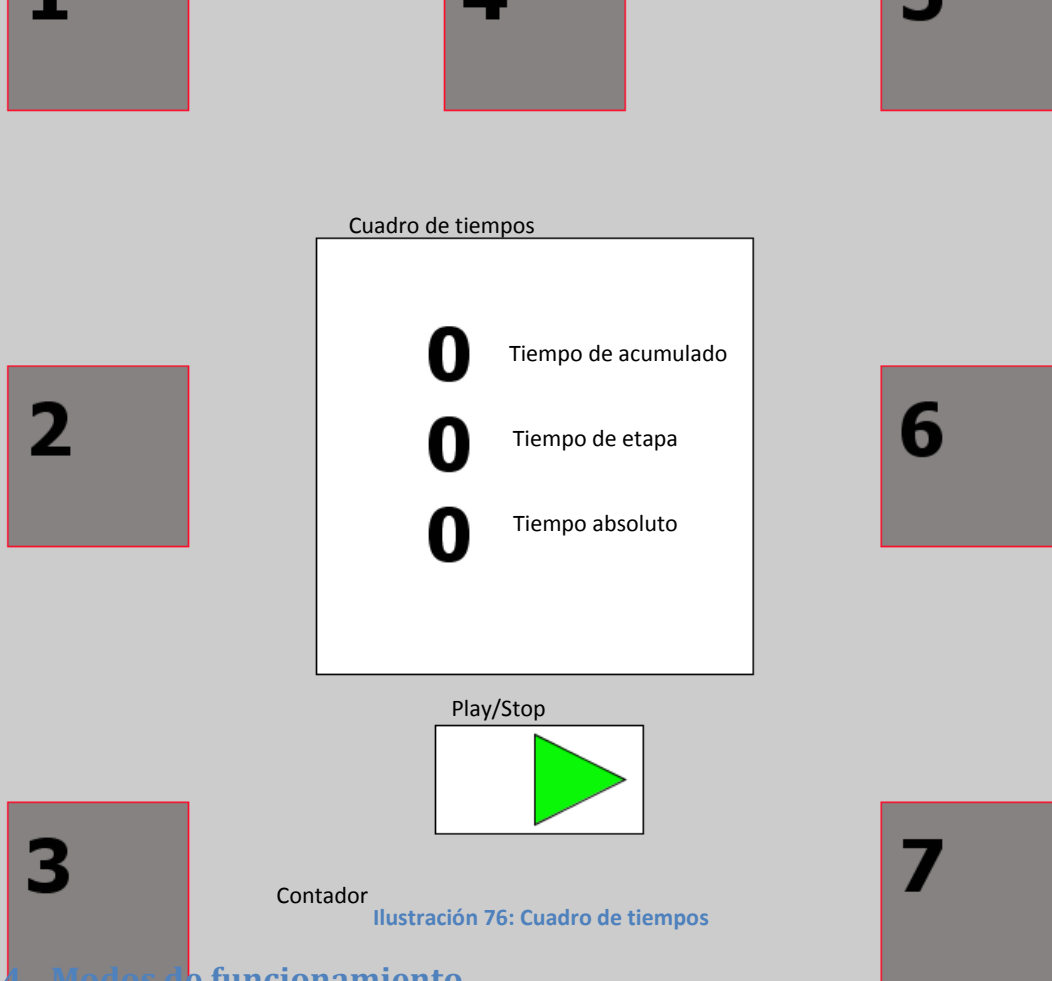


Ilustración 76: Cuadro de tiempos

4.4 Modos de funcionamiento

4.4.1 Modo Calibrar

Para un correcto funcionamiento del dispositivo se precisa una correcta calibración del mismo, para ello se activan todos emisores ópticos, en el momento en que el receptor óptico detecta el haz de luz procedente del emisor éste se apaga.

En la ilustración 77 se muestra el diagrama de flujo programado para cada una de las barreras ópticas. Por simplicidad sólo se ha representado el caso de una barrera óptica, puesto que la función es igual para el resto.

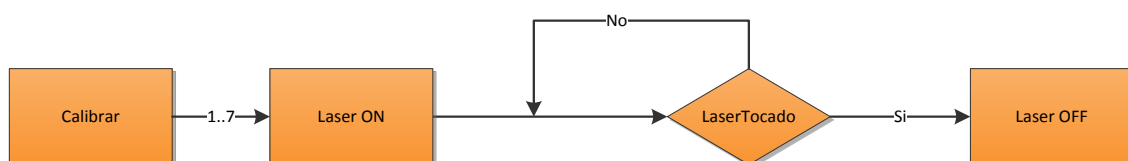


Ilustración 77: Diagrama de flujo para el modo de funcionamiento Calibrar

4.4.2 Modo Auto

Este modo es el más complejo y a la vez el más útil. El sistema pide al usuario preestablecer el valor del contador entre 15, 10 o 5. Al comienzo del ejercicio se activa la barrera óptica número cuatro que actúa como elemento de control. Una vez comenzado el ejercicio, a medida que se intercepte una barrera óptica se decrementa el contador y se activa otra barrera óptica. Cuando el contador llegue a cero, el sistema emite un sonido y vuelve a activar la barrera cuatro y espera hasta introducir un nuevo valor del Contador.

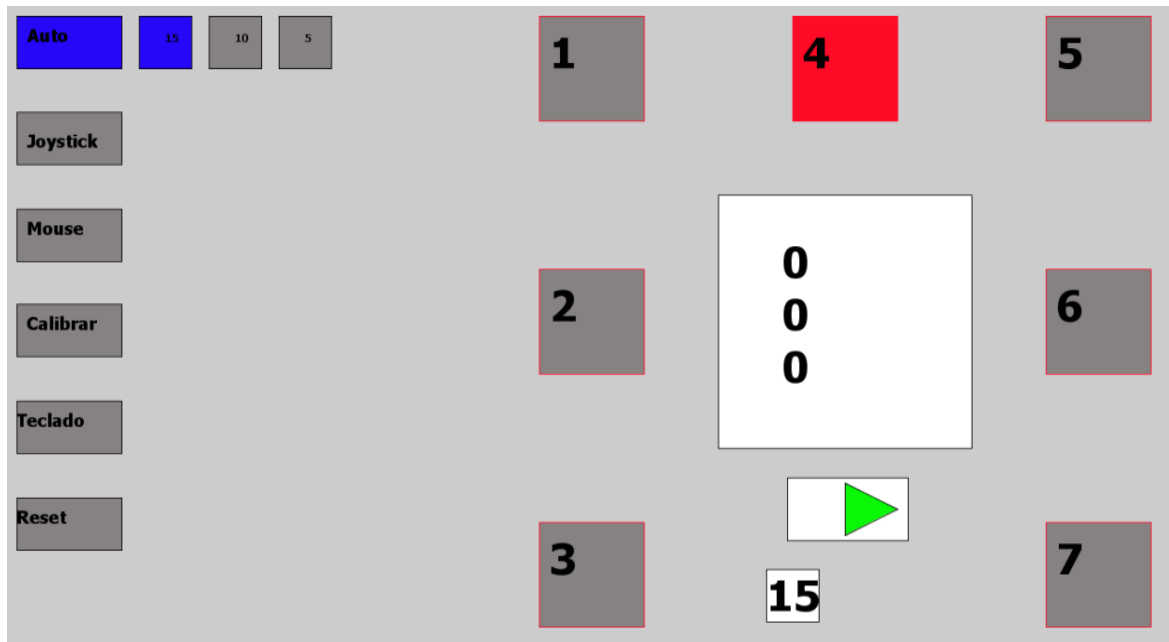


Ilustración 79: Interfaz al inicio del ejercicio en modo Auto

4.4.3 Modo Mouse

El modo mouse está pensado para que el entrenador elija libremente el movimiento que debe hacer el deportista. Se activa la barrera óptica cada vez que el puntero del ratón se encuentra sobre uno de los botones y no hay ninguna otra barrera óptica encendida.

Con este método se puede pulir ciertos movimientos en los que el deportista encuentre dificultad, por ejemplo levantar rápidamente el brazo desde una posición a ras de suelo hasta la esquina superior tras una lesión de hombro.

En la ilustración 80 se muestra la imagen de la interfaz de usuario en el modo mouse. El ejercicio se encuentra en iniciado, el contador muestra que se han realizado 9 movimientos, y en este instante de tiempo la barrera óptica 7 se encuentra activa.

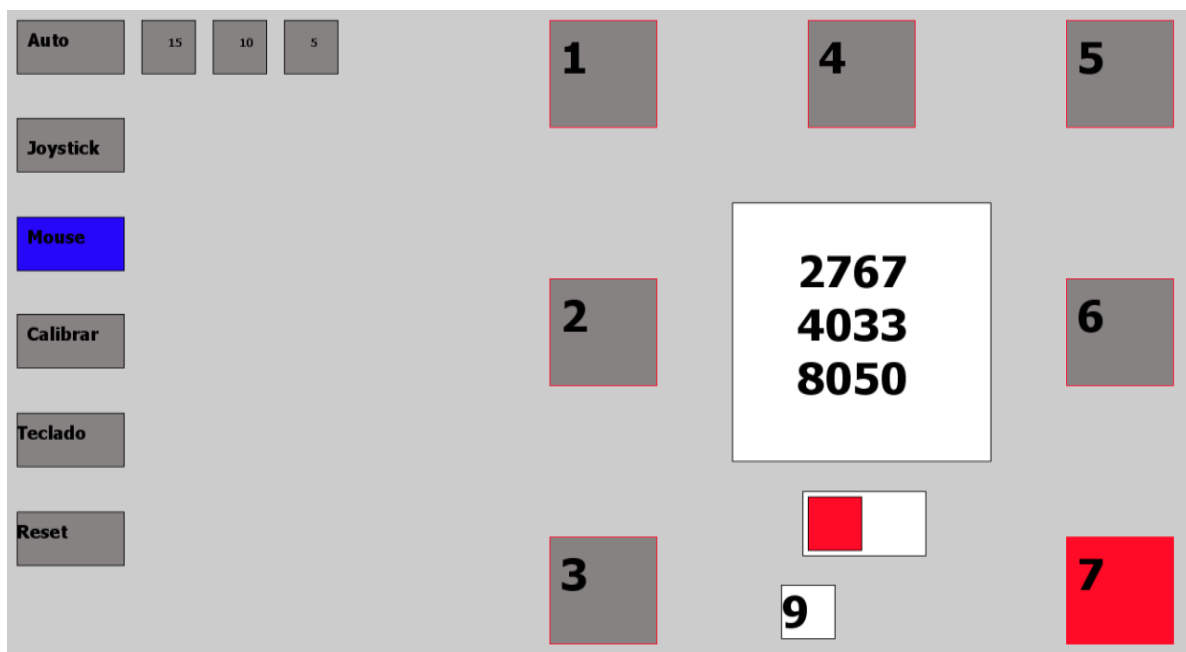


Ilustración 80: Interfaz de usuario en modo Mouse

4.4.4 Modo Teclado

El modo teclado funciona igual que el modo mouse, salvo que en lugar de utilizar el ratón para la selección de la barrera óptica activa se emplean los números del teclado con los que se ha asignado a cada una de las barreras ópticas.

4.4.5 Modo Joystick

El modo joystick funciona igual que el modo mouse, salvo que en lugar de emplear el ratón para la selección de la barrera óptica activa se emplea el módulo joystick. Este modo se crea a raíz de la utilización de un módulo Joystick de la video consola PlayStation 2.

Para poder establecer los límites entre que se enciende un láser u otro, primero se hace un mapa con las lecturas analógicas límite. En la ilustración 81 se presenta dicho mapa. El programa desarrollado activa la barrera óptica en función de la posición del joystick y mientras dicha barrera no sea interceptada no activa otra a pesar de que sea seleccionada con el mando.

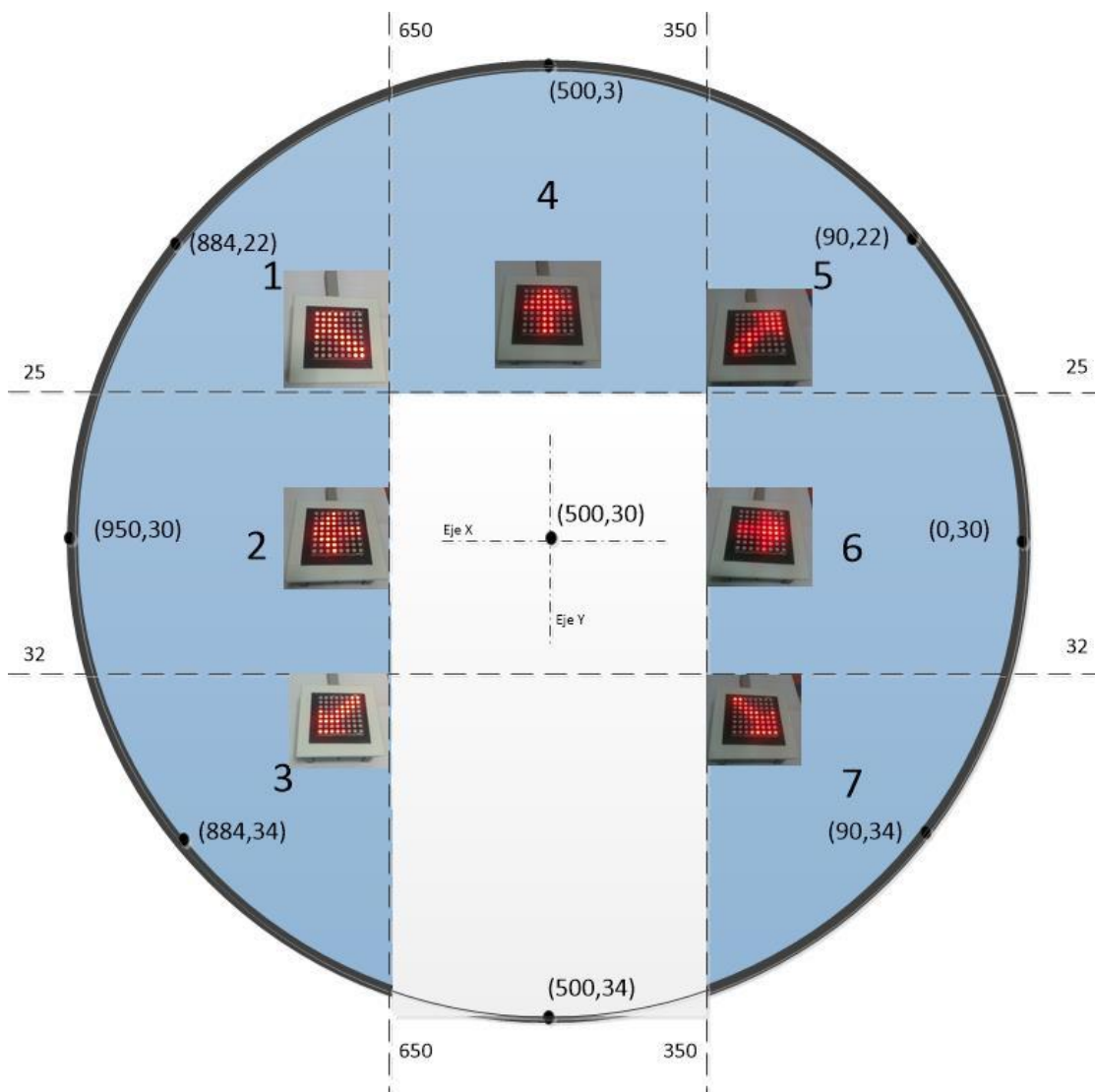


Ilustración 81: Esquema de lecturas analógicas

5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1 Conclusiones

En el presente Trabajo Fin de Grado se ha diseñado e implementado un dispositivo para el entrenamiento y monitorización del rendimiento de deportistas de alto nivel. El sistema se basa en la activación secuencial de diferentes barreras ópticas que el deportista debe interceptar en el menor tiempo posible.

Para la realización del sistema se ha dividido el sistema en cuatro bloques: Estructura emisores, estructura receptores, microcontrolador y sistema de alimentación.

El sistema implementado cumple con los objetivos propuestos:

- **Sistema que permita monitorizar el rendimiento de los deportistas**, puesto que el sistema permite evaluar el tiempo que un usuario tarda en realizar una serie de movimientos que se le van indicando.
- **Dispositivo optoelectrónico para evitar el contacto físico máquina-usuario**. Se han desarrollado unas barreras ópticas empleando módulos láser que permiten dirigir fácilmente los haces de luz a los detectores ópticos. Mediante este sistema, el usuario debe interceptar el haz de luz activo cuando se lo indica el dispositivo.
- **Ligero y fácil de compactar y desplazar**. El sistema se ha implementado empleando diferentes estructuras desmontables. Se ha generado una estructura ligera y fácil de montar para la fijación de los emisores ópticos, los detectores ópticos se han integrado



en un maletín, al igual que el sistema de alimentación. Por su parte, se ha diseñado el cableado para que sea fácil de conectar y desconectar.

- **Multifuncional:** que tenga más de una utilidad. Debido a su constitución, el sistema permite el seguimiento de diferentes tipos de entrenamiento.
- **Precio económico.** En su desarrollo se han empleado materiales y componentes de bajo coste.

5.2 Trabajos Futuros

A continuación se exponen los trabajos futuros con las posibles mejoras del sistema desarrollado. Puesto que el diseño realizado consta de diferentes bloques, las propuestas se han dividido en diferentes apartados.

5.2.1 Mejoras estructurales

- La estructura de los emisores se puede realizar en aluminio que ofrece mayor resistencia y estabilidad, a parte de la mejora estética.
- Empleo de monturas ajustables con tornillos micrométricos que faciliten el apuntamiento de los haces de luz desde los emisores a los detectores ópticos, obteniendo de esta forma más precisión.

5.2.2 Mejoras de hardware

- Uso de emisores ópticos de mayor calidad que los empleados.
- Empleo de detectores ópticos con un área activa mayor que facilite el apuntamiento del haz de luz procedente del emisor óptico.

5.2.3 Mejoras de software

- Mejorar la aplicación desarrollada para tratar estadísticamente los datos obtenidos
- Uso de bases de datos y servidores web que permitan generar diferentes perfiles de usuario, además de poder acceder a los datos a través de internet. En la ilustración 82 se muestra un posible esquema para el software.



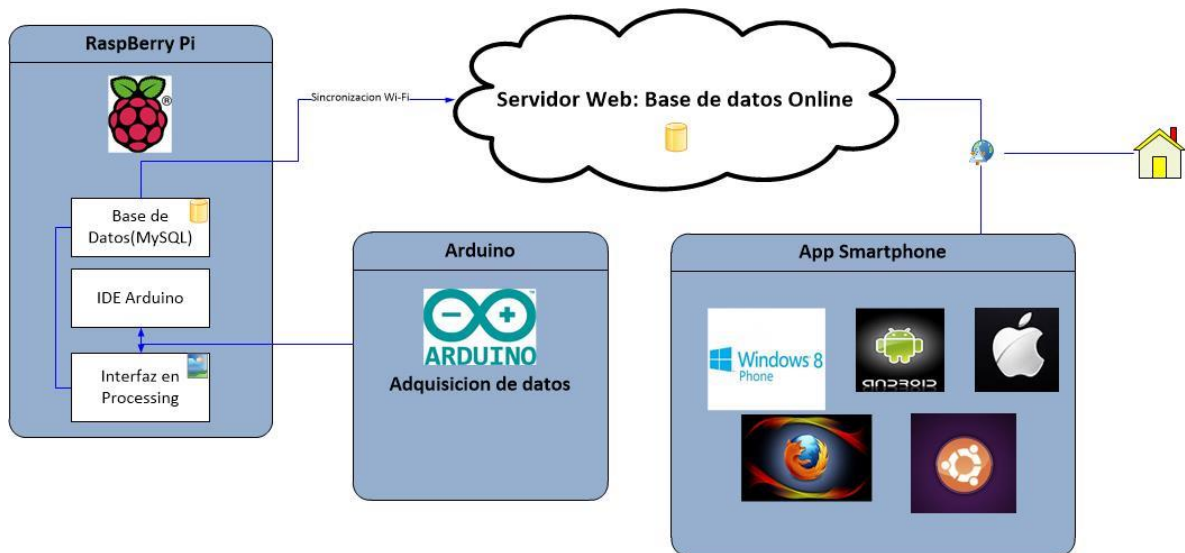


Ilustración 82: Posible esquema de sincronización online

- Creación de una aplicación para teléfonos inteligentes que permita configurar el sistema a través de un teléfono móvil. Se propone la ilustración 83 a modo de ejemplo.

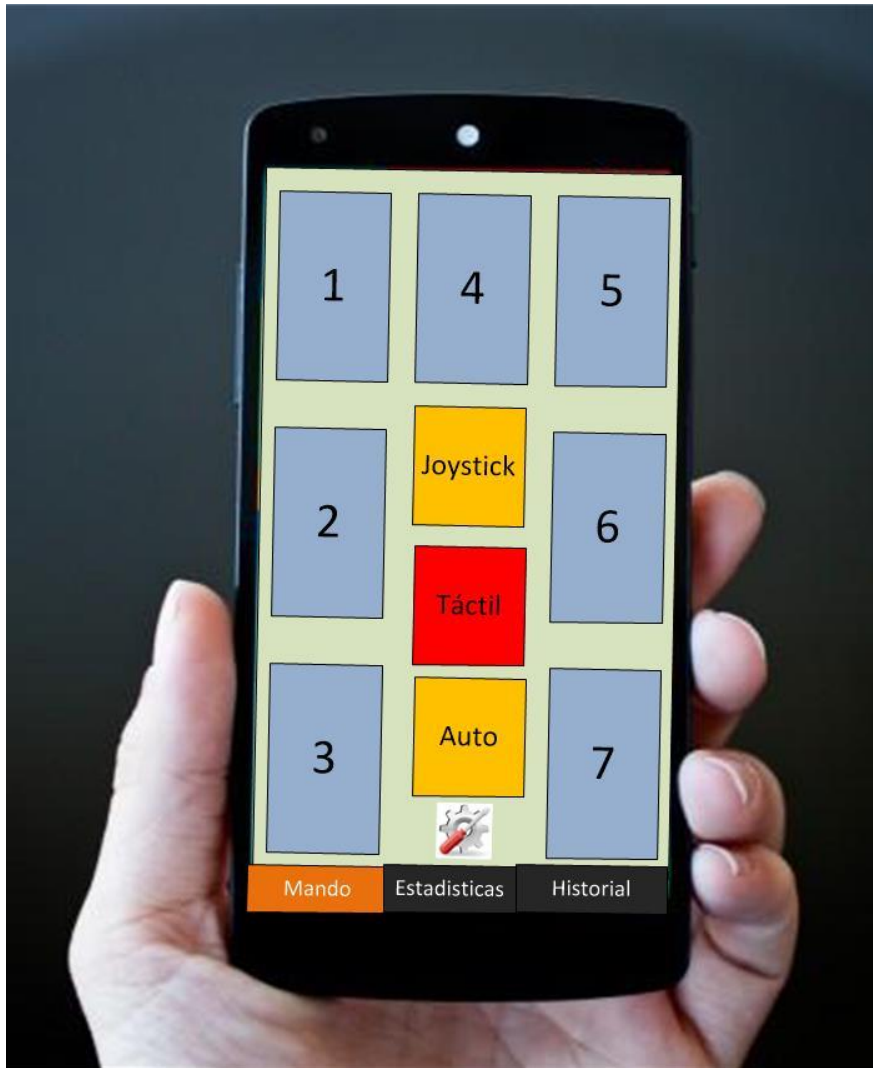


Ilustración 83: Ejemplo de aplicación para un teléfono inteligente.

REFERENCIAS

- [1] <http://www.idec.upf.edu/master-en-tecnologia-para-el-deporte>. (Último acceso 20 junio de 2014)
- [2] <http://www.diariosdefutbol.com/2013/04/30/asi-funciona-el-footbonaut/> (Último acceso 20 de junio de 2014)
- [3] <http://www.batak.com/whatisbatak.htm> (Último acceso 20 de junio de 2014)
- [4] <http://www.youtube.com/watch?v=TWsyIDwryQ&hd=1&autoplay=1> (Último acceso 20 de junio de 2014)
- [5] http://es.wikipedia.org/wiki/Filtro_anal%C3%B3gico (Último acceso 20 de junio de 2014)
- [6] http://www2.imse-cnm.csic.es/tec_exp/downloads/CURSO_0708/practica6_0708.pdf (Último acceso 20 de junio de 2014)
- [7] <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560#.UxB0Qfl5OSr> (Último acceso 20 junio de 2014)
- [8] "The Time Delay in Human Vision" D. A. Wardle, *THE PHYSICS TEACHER* Vol. 36, 442-444 Oct. 1998



PROGRAMAS EMPLEADOS

Microsoft Visio: Para los dibujos y esquemáticos.

OpenScad: Para la creación de las piezas 3D.

Google Sketchup: Para la creación de las piezas 3D más complejas.

Repetier-Host: Para la impresión 3D a partir del archivo .stl.

Orcad Pspice 15.7: Para el diseño de los esquemáticos de los circuitos.

Orcad Layout: Para el diseño de la PCB.

IDE Arduino: Para pasar los datos del arduino a la IDE Processing.

Fritzing: Para los esquemáticos del Arduino.

Processing: Para el procesado de los datos que vienen del arduino por el puerto serie y creación de la interfaz gráfica.



ANEXOS

- **Anexo I:** Presupuesto
- **Anexo II:** Opiniones de expertos en deporte de alto nivel.
- **Anexo III:** Manual de instalación
- **Anexo IV:** Manual de funcionamiento



ANEXO I: PRESUPUESTO

A modo de resumen, el coste del desarrollo del prototipo se presenta en la tabla 1.

Apartado	Precio
PCB Emisor	19,77 €
PCB Receptor	11,33 €
Estructura Emisor	113,83 €
Arduino y Extras	55,50 €
Estructura Receptor	16,23 €
Alimentación	30,71 €
Cableado	51,31 €
Conexiones	43,83 €
Total	342,51 €

Tabla 1: Hoja resumen

A continuación se detalla el gasto en cada uno de los apartados.



-Placa del circuito impreso del emisor

Componentes	Función	Cantidad/Placas	Placas	Cantidad	Precio unitari	Precio Total
3,3kohm	Oscilador	2	8	16	0,01 €	0,16 €
10nF	Oscilador	2	8	16	0,07 €	1,15 €
100nF	Condensadores de desacoplo	2	8	16	0,03 €	0,46 €
470ohm	Realimentación	1	8	8	0,01 €	0,08 €
1kohm	Realimentación	1	8	8	0,01 €	0,08 €
1Kohm	Divisor resistivo	1	8	8	0,01 €	0,08 €
12kohm	Divisor resistivo	1	8	8	0,01 €	0,08 €
10uF	Desacoplo continua	1	8	8	0,03 €	0,22 €
10k	Resistencia base	1	8	8	0,01 €	0,08 €
4,7k	Resistencia base	1	8	8	0,01 €	0,08 €
BC547B	Transistor	1	8	8	0,04 €	0,34 €
100ohm	Resistencia emisor	1	8	8	0,01 €	0,08 €
laser	Láser	1	8	8	0,36 €	2,91 €
Conectores 2 clema	Conectores	2	8	16	0,19 €	2,96 €
TL082	Operacional	1	8	8	0,60 €	4,80 €
Leds	Leds	6	8	48	0,05 €	2,28 €
Rled=220	Leds	3	8	24	0,01 €	0,24 €
Zocalo TL082	Zócalo	1	8	8	0,21 €	1,65 €
Conectores torneado	Conectores	1	8	8	0,26 €	2,05 €
Total						19,77 €

Tabla 2: PCB Emisor

-Placa del circuito impreso del receptor

Componentes	Descripción	Cantidad/Placas	Placas	Cantidad Tota	Precio unitari	Precio Total
1K	Convertor corriente-tensión	1	8	8	0,01 €	0,08 €
10K	Filtro RC	1	8	8	0,01 €	0,08 €
100nF	Desacoplo continua TL081	2	8	16	0,03 €	0,47 €
10nF	Desacoplo continua TL081	1	8	8	0,03 €	0,22 €
3,3K	Realimentación	1	8	8	0,01 €	0,08 €
TL081	Operacional	1	8	8	0,19 €	1,52 €
1N4148	Diodo rectificador	1	8	8	0,03 €	0,24 €
10uF	Filtro RC	1	8	8	0,03 €	0,22 €
Zócalo DIP	Zocalo para TL081	1	8	8	0,21 €	1,65 €
Conectores 3Clema	Conector	1	8	8	0,28 €	2,22 €
Conectores 2 Clema	Conector	1	8	8	0,19 €	1,48 €
BPW40	Fotodiodo receptor	1	8	8	0,38 €	3,07 €
Total						11,33 €

Tabla 3: PCB Receptor



-Estructura emisores

Componentes	Función	Cantidad	Precio unitar	Precio Total
Tubo diametro 40, ML	Apoyo exterior y barras verticales	7,5	2,55 €	19,13 €
Tubo diametro 50,ML	Barras Horizontal	7,5	1,95 €	14,63 €
Empalme 50-40	Deslizamiento	12	0,80 €	9,60 €
Adaptador T	Deslizamiento	6	1,10 €	6,60 €
Adaptador Pie	Apoyo en suelo	2	2,50 €	5,00 €
Cerrosjos	Fijacion	4	0,60 €	2,40 €
Rótula Aeromodelismo	Apuntar	7	7,00 €	49,00 €
Codos 90	Estabilidad	2	0,90 €	1,80 €
Cajas distribucion	Estética	8	0,26 €	2,08 €
Tapa Cajas	Estética	8	0,45 €	3,60 €
Total				113,83 €

Tabla 4: Estructura del emisor

-Placa microcontrolador

Componente	Descripcion	Cantidad	Precio unita	Precio Total
Arduino MEGA		1	45,70 €	45,70 €
Altavoz		1	5,60 €	5,60 €
Matriz Led		1	4,20 €	4,20 €
Total				55,50 €

Tabla 5: Arduino y extras

-Maletín módulos receptores

Componentes	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Plancha de Madera	1	4,23 €	4,23 €
Maletín	1	12,00 €	12,00 €
Total			16,23 €

Tabla 6: Estructura del receptor

-Maletín sistema de alimentación

Componentes	Cantidad	Precio unitar	Precio Total
Fuente de alimentacion	1	20,71 €	20,71 €
Maletín	1	10,00 €	10,00 €
Total			30,71 €

Tabla 7: Fuente de alimentación



-Cableado

Componentes	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Cable Negro 1mm2	25	0,26 €	6,38 €
Cable Rojo 1mm2	72	0,26 €	18,36 €
Cable Amarillo 1mm2	25	0,26 €	6,38 €
Cable Azul 1mm2	25	0,26 €	6,38 €
Cable Plano 16P	7	1,46 €	10,19 €
Cable Rojo 0,25mm2	5	0,24 €	1,21 €
Cable Negro 0,25mm2	5	0,24 €	1,21 €
Cable Blanco 0,25mm2	5	0,24 €	1,21 €
Total			51,31 €

Tabla 8: Cableado

-Conectores

Componentes	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Carcasa MiniFit Macho	18	0,17 €	3,02 €
Carcasa MiniFit Hembra	18	0,17 €	3,02 €
Terminal Crimpar MINIFIT Macho	70	0,06 €	4,20 €
Terminal Crimpar MINIFIT hembra	70	0,06 €	4,20 €
Carcasa Joystick	3	0,27 €	0,81 €
Terminal ENGASTE	9	0,05 €	0,43 €
Conector Poste 7P Macho	4	0,10 €	0,41 €
Conector Poste 7P Hembra	4	0,10 €	0,41 €
conector cable plano 16P Hembra	4	0,28 €	1,12 €
conector cable plano 16P Macho	4	0,28 €	1,12 €
Conector Banana Macho	13	1,20 €	15,60 €
Conector Banana Hembra	13	0,63 €	8,19 €
Conector Alimentacion con interruptor	1	1,30 €	1,30 €
Total			43,83 €

Tabla 9: Conexiones



ANEXO II: OPINIONES DE EXPERTOS EN DEPORTE DE ALTO NIVEL.

Con el objetivo de hacer más ilustrativa la utilidad de este trabajo, se ha pedido a dos profesionales de diferentes campos su opinión acerca de cómo este dispositivo puede afectar en su ámbito de trabajo.

Opinión del fisioterapeuta (José Moyano Rivas)

“Este dispositivo de entrenamiento es especialmente útil dentro del campo de la fisioterapia por varias razones:

- Puede aplicarse en varias fases del tratamiento de diversas patologías.
- Tiene aplicación en lesiones tanto de miembros superiores, como de miembros inferiores, como de cualquier patología que curse con periodos de inmovilidad,
- Su uso no conlleva impacto para los miembros superiores y se puede trabajar con el propio peso del cuerpo.
- Ideal para la readaptación deportiva.
- Es divertido y puede ser entendido como un juego.
- Nos puede dar una valoración objetiva con datos de la situación del paciente.

Tras una intervención quirúrgica que requiera un cierto periodo de inmovilización, los pacientes pierden movilidad en sus articulaciones, disminuye su masa muscular y esto conlleva una pérdida de fuerza del miembro afectado. En el proceso de rehabilitación postoperatoria el paciente debe ir ganando los grados de movilidad perdidos y realizando ejercicios para trabajar la musculatura debilitada. Este dispositivo es una buena herramienta para incluirla en diversos estadios o fases del proceso rehabilitador, ya que en una primera fase nos permite



trabajar sin cargas ni impactos sobre las articulaciones del miembro superior y en fases más tardías podemos incrementar el ejercicio con lastres y pesas para fortalecer a nuestro paciente.

También resulta de gran ayuda en afecciones unilaterales porque como consecuencia del dolor, de la debilidad o de la dificultad para la reclutación de fibras musculares que presentan algunos pacientes, la velocidad para realizar ciertos movimientos con una extremidad afectada se ve disminuida considerablemente respecto a la extremidad no afectada y este dispositivo puede ayudar a igualarla objetivamente con la extremidad sana.

En caso de poder cuantificar el tiempo de reacción en la realización de los ejercicios (tal y como se indica en el apartado de ampliaciones), este dispositivo nos sería especialmente útil para poder medir de una forma objetiva la evolución de la persona y compararla con su lado sano o incluso con una media de la población sana, lo que incluso nos serviría para poder diagnosticar estados patológicos o descubrir altas capacidades para determinadas prácticas deportivas.

Donde sin lugar a dudas es una herramienta ideal es en el proceso de readaptación a la actividad deportiva, y más concretamente ante la figura de los porteros de diversos deportes. Una vez el deportista ha terminado el proceso de rehabilitación en clínica y obtiene lo que se denomina “el alta médica”, debe pasar un proceso de readaptación a su puesto deportivo, el cual le acarrea más exigencias físicas que las actividades de la vida diaria, pues va a realizar, dependiendo de su actividad y de su puesto dentro del equipo, unos gestos deportivos de máxima exigencia y en algunas ocasiones con un gran número de repeticiones. Para esto el deportista debe de ir incrementando poco a poco la exigencia de los movimientos propios de su puesto, aumentando la velocidad, la resistencia y la dificultad paulatinamente. Este dispositivo sería ideal para este tipo de trabajo.

Otro factor a tener en cuenta en el proceso de readaptación de un deportista además del aspecto físico de la lesión es el aspecto psicológico, pues es normal que tras haber sufrido una lesión importante por un gesto deportivo, el sujeto sienta cierto miedo a volver a realizar dicho gesto, y ante esta circunstancia también sería útil este tipo de trabajo.

Aunque a priori pueda parecer que el dispositivo va más encaminado o es más exigente para ejercicios de miembro superior, al poder trabajar los desplazamientos laterales, los cambios de dirección e incluso el poder interactuar directamente con las piernas, también tendría una gran aplicación en la fisioterapia de lesiones de miembros inferiores.

Su aplicación no se reduciría al campo de la traumatología, pues el sistema nervioso también se puede ver beneficiado del trabajo con este dispositivo, ya que se estaría estimulando la *coordinación óculo-manual* e incluso tendría aplicaciones para estimular el *desarrollo psicomotriz*.



Un punto más a favor de este dispositivo es el alto grado de fidelización al tratamiento que conlleva el trabajar con herramientas dinámicas, divertidas y que pueden ser entendidas como juegos. Hoy en día ante determinados pacientes (especialmente niños y pacientes neurológicos) se busca que el tratamiento les sea lo más entretenido y divertido posible, para asegurar la realización de los ejercicios con entusiasmo y que se les saque el mayor provecho posible a la sesión, de ahí que se estén utilizando videoconsolas y periféricos para el control del videojuegos que se muestran útiles en fisioterapia.

Por todo esto creo que la idea de este dispositivo sería de gran ayuda para la fisioterapia.”

José Moyano Rivas

Fisioterapeuta Colegiado CPFCM 9382

Fisioterapeuta Club Balonmano Alcobendas



Opinión del Deportista (Michaela Ciobanu)

“Una vez analizado el aparato veo que es de suma utilidad para el deporte como herramienta para mejorar las habilidades motrices.

Es un instrumento muy útil para trabajar entre otras habilidades, la velocidad, los reflejos, el tiempo de reacción y la coordinación del deportista.

Al ser un mecanismo que no requiere de fuerza y puede ajustarse a diferentes alturas, puede usarse de forma equivalente en categoría masculina y femenina, en todas las edades, desde su uso en etapas de aprendizaje hasta un uso de perfeccionamiento en el alto rendimiento

Además de ser útil con las funciones del programa, también puede utilizarse como herramienta de complemento al entrenamiento, es decir se puede hacer un ejercicio adicional y complementarlo con este sistema, por ejemplo, hacer flexiones e incorporarse a cortar los láseres de arriba.

En cuanto al trabajo físico podrían usarse desde lastres o mancuernas hasta balones medicinales, dependiendo del objetivo que se tenga.

Por todo esto considero que es una máquina bastante completa, que puede aplicarse en muchos deportes y de gran ayuda a la mejora individual de los deportistas.”

Michaela Ciobanu

Exjugadora de la selección española absoluta femenina (#Guerreras) con grandes éxitos, entre ellos destaca:

- Medalla de plata europeo 2008 en Macedonia
- Medalla de bronce mundial 2011 en Brasil
- Medalla de bronce JJ.OO Londres 2012

Actual entrenadora de porteros en el Club Balonmano Alcobendas



ANEXO III: MANUAL DE INSTALACIÓN

Para la construcción del dispositivo el primer paso es hacer inventario de las divisiones de las que se dispone:

Para la estructura del emisor:

- Parte inferior emisor [\[Pieza 1\]](#)



Ilustración 84: Parte inferior de la estructura del emisor [\[Pieza 1\]](#)

- 2 tubos verticales de 1.75 metros con taladro y marcas[Piezas 2 y 3]



Ilustración 85: tubos verticales con taladro y marcas [Piezas 2 y 3]

- 2 tubos horizontales con cajas con los emisores(uno de 2 tubos y matriz led [Pieza 5] y otro 3 emisores [Pieza 6])

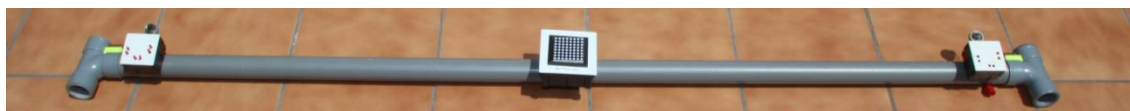


Ilustración 86: Tubo horizontal parte media [Pieza 5]



Ilustración 87: Tubo horizontal parte superior [Pieza 6]

- Tubo horizontal con dos codos para apoyo superior[Pieza 7]

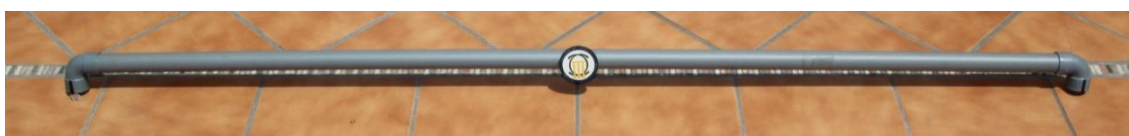


Ilustración 88: Tubo horizontal de apoyo superior [Pieza 7]

Para el receptor:

- Maletín del receptor [Pieza 8]



Ilustración 89: Maletín receptor [Pieza 8]

Para la fuente de alimentación:

- Maletín fuente de alimentación. [Pieza 9]



Ilustración 90: Maletín Fuente de alimentación [Pieza 9]

Para el arduino

- Caja conexión Arduino [\[Pieza 10\]](#)



Ilustración 91: Caja para conexión Arduino [\[Pieza 10\]](#)

En cuanto al cableado, se han pintado los conectores y numerado los cables, para minimizar los errores.

1. Cable 5m con los cables de cada tubo



Ilustración 92: Cable 5m [Cable 1]

2. Cable señales de los receptores receptores.



Ilustración 93: Cable señales de los receptores[Cable 6]

3. Cable para el tubo inferior(Amarillo)



Ilustración 94: Cable para el tubo inferior [Cable 3]

4. Cable para el tubo superior(Azul)



Ilustración 95: Cable para tubo superior [Cable 4]

5. Cable señal de los emisores



Ilustración 96: Cable señal emisores [Cable 5]

6. Cable señales de los receptores receptores.



Ilustración 97: Cable señales de los receptores[Cable 6]

7. Cable alimentación de los receptores



8. Cable Altavoz



9. Cable Joystick



Ilustración 98: Cable Joystick [Cable 9]

1. Cable Plano 6 M

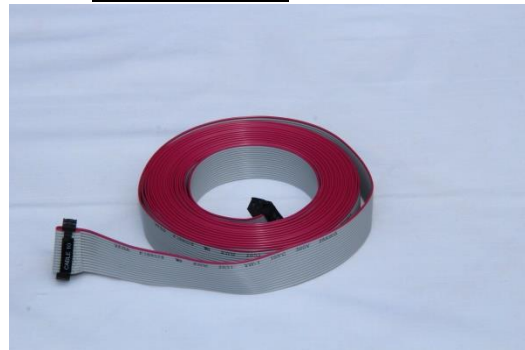


Ilustración 99: Cable plano [Cable 10]

Una vez conocidos los elementos se procede al montaje de la estructura del emisor:

Paso 1:

Conectar los tubos verticales [Pieza 2 y 3] en la parte inferior del emisor [Pieza 1] atendiendo a la marca dispuesta para ello. (Véase ilustración 11)



Ilustración 100: Paso 1 de la instalación: posicionar tubos verticales

Paso 2:

Introducir los tubos horizontales [Pieza 4 y 5] desde la parte superior de los tubos verticales previamente insertados.

En este paso es importante introducir en primer lugar el tubo horizontal que contiene la Matriz led [Pieza 4] y posteriormente el que contiene los tres emisores [Pieza 5].

Se recomienda desplazar hasta abajo del todo, para evitar tensiones innecesarias en las tuberías.



Ilustración 101: Paso 2 de la instalación: posicionar barras horizontales

Paso3:

Se introduce el tubo con los codos [Pieza 6] en la parte superior, dando mayor rigidez y estabilidad a la estructura

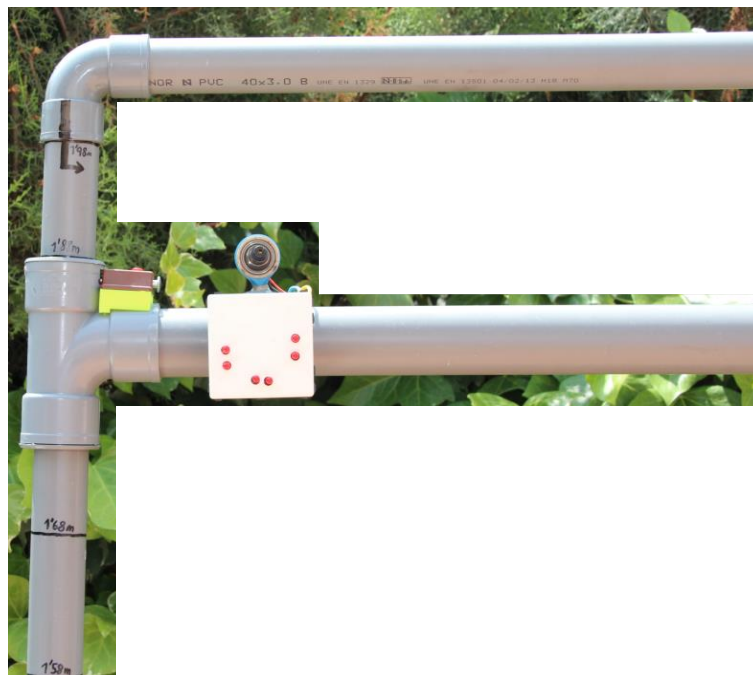


Ilustración 102: Paso 3 de la instalación: introducción tubo superior de apoyo

Paso 4:



Se colocan los tubos a la altura que se deseé, haciendo coincidir la parte superior de la T con las marcas que están dispuestas para ello. Una vez hecho esto, introducir el vástago del cerrojo en cada lado para dejar la barra fija, en caso de desmontarlo basta con apretar el botón que se encuentra en la parte superior del cerrojo.



Ilustración 103: Paso 4 de la instalación: ajustar altura de las barras horizontales

Paso 5:

El sistema está pensado para que el maletín del receptor [Pieza 8] se encuentre en una mesa al lado de un ordenador y del microcontrolador Arduino [Pieza 10] y orientado de cara a la estructura del emisor.

El maletín con la fuente de alimentación [Pieza 9] deberá situarse en el suelo, lo más cercano posible al receptor



Ilustración 104: Paso 5 de la instalación: colocación de los elementos

Paso 6:

Se conectan los cables 2,3 y 4 en la parte trasera de la estructura del emisor, con sus correspondientes colores y estos con sus correspondientes colores con el cable 1

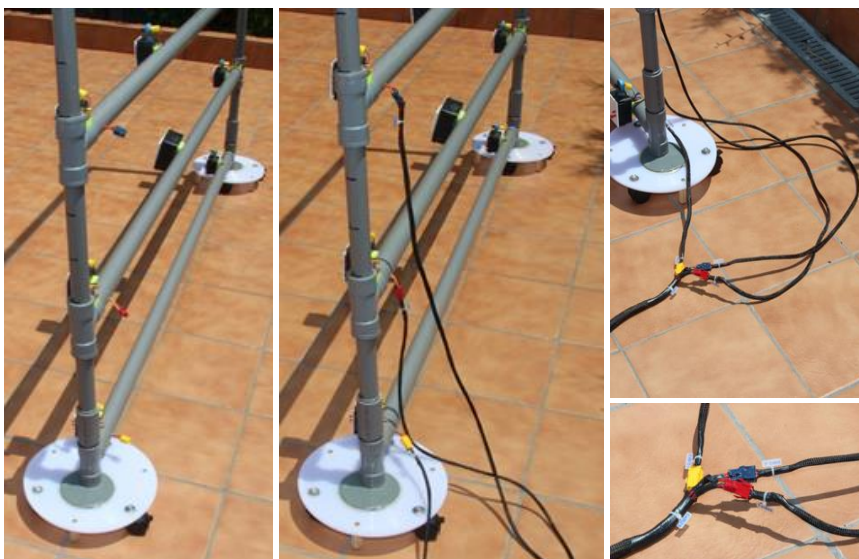


Ilustración 105: Paso 6 de la instalación: cableado estructura emisor

Paso 7:

En el otro extremo del cable 1 se conecta a los colores correspondientes del maletín de la fuente de alimentación. Se conectan el cable 5 con su correspondiente color de la fuente de alimentación y por último se conecta el cable 6 con sus colores correspondientes del maletín.



Ilustración 106: Paso 7 de la instalación: cableado fuente de alimentación

Paso 8

Se conecta el otro extremo del **cable 6** con sus colores correspondientes del maletín de receptores y se conecta el **cable 8** con sus colores correspondientes y cada terminación del **cable 7** siguiendo las indicaciones numéricas de cada terminación



Ilustración 107: Paso 8 de la instalación: cableado centro de receptores

Paso 9

Se conecta el otro extremo de los cables 7,8 y 5 con sus correspondientes números del “Shield” creado para el arduino.

Se conecta el mando del joystick (Cable 9) siguiendo las indicaciones de los números que en él se hallan

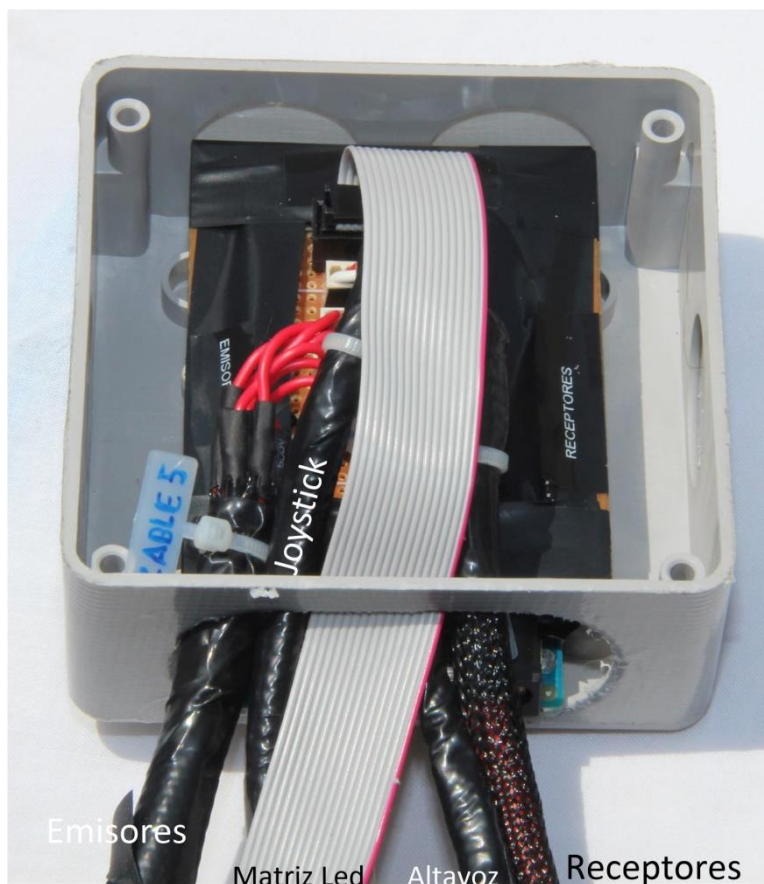


Ilustración 108: Paso 9 de la instalación: Cableado Arduino

Una vez conectados todos los cables, deberá quedar como se muestra en la ilustración 109:



Ilustración 109: Cableado centro receptor, alimentación y arduino

Paso 10

Se conecta un extremo del cable plano flexible ([Cable 10](#)) y se hace llegar, de forma que no estorbe al usuario del dispositivo a la parte superior de la matriz led



Ilustración 110: Paso 10 de la instalación: Cableado matriz led

Una vez instalado y cableado el sistema debe quedar como el que se muestra en la figura 111.



Ilustración 111: Estructura completa instalada

ANEXO IV: MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

Una vez conectados todos los cables se busca el archivo ejecutable del programa y se ejecuta, tras esto debe salir el menú de la interfaz gráfica como la que muestra la ilustración 112:

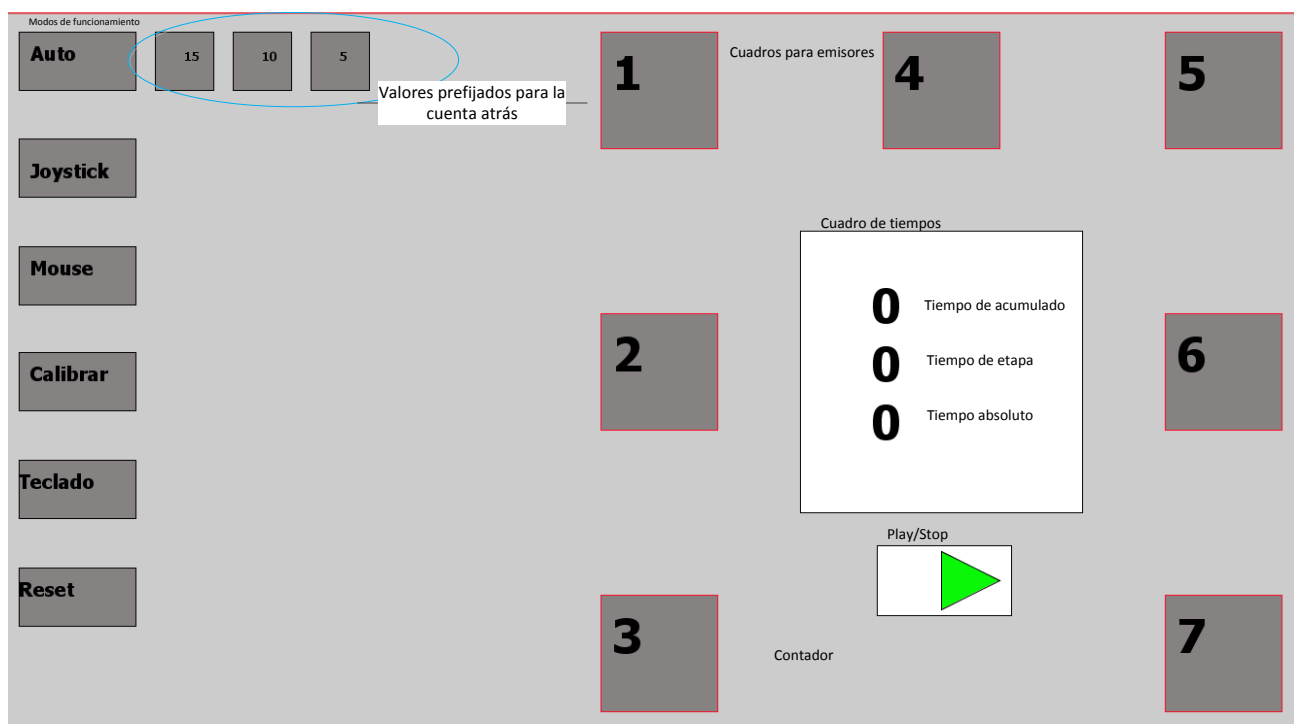


Ilustración 112: Interfaz gráfica

PASO 1:



Universidad
Carlos III de Madrid

Carlos Donderis Vegas
Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y
Automática

Elegir el modo calibrar, en el que se encenderán todos los emisores para apuntar manualmente a los receptores, cuando el haz de luz emitida alcance el receptor óptico, el altavoz emitirá un sonido y posteriormente se apagará el emisor.

Tras repetir la acción en todos los emisores, ya se puede elegir el modo de funcionamiento deseado.

PASO 2:

Los modos manuales, permiten utilizar el cronometro y tienen función ascendente de contador.

1. Elegir el modo manual que se prefiera(Mouse, Teclado o Joystick)
2. Pulsar Botón Play
3. Activar los emisores a voluntad del usuario, que se apagarán cuando algo interfiera entre el emisor y su receptor.
4. Cuando se quiera finalizar el programa hay que pulsar el botón Stop para borrar los tiempos
5. Para inicializar el contador se deberá pulsar el botón de Reset.

Si el modo que se quiere utilizar es el modo Auto, hay que seguir el siguiente orden.

1. Pulsar el número de repeticiones que se quiere hacer en la serie
2. Pulsar modo Auto, en este punto se encenderá el emisor 4, en el momento en que este sea cortado empezará la secuencia mientras disminuye el contador.
3. Cuando el contador llegue a 0 sonará una música de felicitación en el altavoz y volverá a encenderse el número 4, entonces el sistema estará esperando a que se introduzca de nuevo el número de repeticiones.

